

## THESIS / THÈSE

### MASTER IN BIOLOGY OF ORGANISMS AND ECOLOGY

#### Optimisation des repeuplements en *Coregonus lavaretus* (L.) via le suivi du pacage lacustre au lac de Robertville

Hérin, Robert

*Award date:*  
2003

[Link to publication](#)

#### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

#### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



---

FACULTÉS UNIVERSITAIRES NOTRE-DAME DE LA PAIX  
NAMUR

**Faculté des Sciences**

**OPTIMISATION DES REPEUPEMENTS EN *COREGONUS LAVARETUS* (L.) VIA LE SUIVI DU  
PACAGE LACUSTRE AU LAC DE ROBERTVILLE.**

**Mémoire présenté pour l'obtention du grade de  
licencié en Sciences biologiques**

Robert HERIN

Septembre 2003

**Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix**  
**FACULTE DES SCIENCES**  
Secrétariat du Département de biologie  
Rue de Bruxelles 61 - 5000 NAMUR  
Téléphone: + 32(0)81.72.44.18- Téléfax: + 32(0)81.72.44.20  
E-mail: joëlle.jonet@fundp.ac.be - <http://www.fundp.ac.be/fundp.html>

**Optimisation des repeuplements en *Coregonus lavaretus* (L.) via le pacage lacustre au lac de Robertville**

Herin Robert

Résumé

Les premiers déversements en corégones en Région Wallonne ont été réalisés en 1978. Depuis lors différentes techniques de rempoissonnements ont été utilisées pour en garantir le succès. Ces dernières années, c'est la méthode des cages éclairées qui est utilisée pour les repeuplements en *Coregonus lavaretus* au barrage de Robertville. Le suivi des alevins de lavarets fut réalisé dans l'optique d'une optimisation de cette technique.

Les résultats nous ont montré que parmi deux groupes d'alevins ceux qui avaient été pré-élevés à la température la plus importante (18°C) conservaient un avantage de taille durant tout l'élevage. Leurs avantages en taille permettaient de ne pas être limités par la taille de leur proies zooplanctoniques. Au niveau du régime alimentaire ce sont principalement les rotifères qui sont préférés pendant les premières semaines pour les alevins de plus petites tailles. Leur abondance moyenne est de 70 et 51 % par estomac le 23 et le 30 avril. Par la suite les corégones se nourrissent en grande partie de cladocères surtout du genre *Bosmina* (43 % de l'abondance) et de copépodes cyclopoïdes (22 % de l'abondance). Cette tendance a pu être confirmée en montrant que les densités de cladocères à l'intérieur des cages étaient jusqu'à 57 fois moins importantes que hors de celles-ci. Une comparaison entre les régimes alimentaires des alevins de corégones et de jeunes gardons a été réalisée de façon à déceler une éventuelle compétition entre ces deux espèces. Nos résultats nous ont montré que le gardon n'est pas un zooplanctonophage strict. En effet nous avons observé qu'ils se nourrissent d'autres aliments tels que des débris dont l'abondance est comprise entre 10 et 60 %. De plus le nombre d'individus zooplanctoniques présents par estomac est en moyenne de 128,4 chez les corégones tandis qu'il n'est que de 68,9 chez les gardons. Il ne doit pas exister de compétition entre ces deux espèces puisque le régime du gardon se diversifie à l'âge adulte. Il faut toutefois noter que pour les plus petits gardons analysés le zooplancton est à la base de leur régime.

Mémoire de licence en Sciences biologiques

Septembre 2003

**Promoteur:** J.-C. Micha

**Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix**  
**FACULTE DES SCIENCES**  
Secrétariat du Département de biologie  
Rue de Bruxelles 61 - 5000 NAMUR  
Téléphone: + 32(0)81.72.44.18- Téléfax: + 32(0)81.72.44.20  
E-mail: joëlle.jonet@fundp.ac.be - <http://www.fundp.ac.be/fundp.html>

**Improvement of *Coregonus lavaretus* (L.) restocking by cage rearing in the Robertville  
reservoir lake**

Herin Robert

Abstract

The first introduction of whitefish in Wallonia was realised in 1978. Since then to enhance the chances of success of such a reintroduction, different techniques have been used. These last few years we used the rearing cage method in the Robertville dam. In order to optimise this technique we have studied the rearing of *Coregonus lavaretus* larvae. The differences observed between two groups of larvae have showed that the group prefed in tanks at higher temperature (18°C) maintained a size advantage during their growth. They weren't limited by the size of the zooplankton preys. Concerning the diet, the smallest size larvae rather feed on rotifera during the first week of rearing. On 23 and 30 April the rotifera abundance in stomach contents was of 70 and 51 %. Later whitefish fry mostly feed on cladocerans and in particular the genus *Bosmina* (43 % of total abundance) and cyclopoïd copepodes (22 % of total abundance). Cladocerans showed a density up to 57 times lower in the cage than in pelagic zone what confirms the selectivity for this.

The diet of young whitefish and roach have been compared in order to show possible competition between the two species. Our results have proved that juveniles roaches are not really zooplankton feeders. We observed that they feed on different sources of food as vegetal detritus for which abundance was between 10 and 60 %. Moreover the mean density of zooplankton per stomach which is 128,4 for whitefish though it is only of 68,9 for roach. There is probably no competition between the two species as the diet diversifies when adult. But it should be noted that for small roaches zooplankton takes an important place in their feeding.

Mémoire de licence en Sciences biologiques

Septembre 2003

**Promoteur:** J.-C. Micha

## Remerciements

Au terme de ce travail et de ces quatre années d'étude, je voudrais tout d'abord remercier mon promoteur, le Professeur Micha pour m'avoir accueilli dans son unité de recherche et m'avoir donné de nombreux conseils pour la réalisation de ce mémoire.

Je tiens aussi à remercier Christelle Malbrouck, ma tutrice, pour m'avoir guidé dans ce travail, pour ses connaissances sur le sujet et pour le temps qu'elle m'a consacré tout au long de ce travail.

J'adresse aussi toute ma gratitude à Pierre Fossion pour son aide précieuse et son dynamisme sur le terrain. Pierre merci aussi pour nos conversations sur notre passion commune pour les deux roues lors des voyages entre Robertville et Namur.

Je remercie aussi la Ligue Royale de Propagande des Pêcheurs de l'Est sans qui cette recherche n'aurait pu être effectuée. Je remercie plus particulièrement J.M. Lorquet et F. Huybrechts. Merci pour votre aide et pour la bonne humeur que vous amenez sur le terrain.

Je tiens aussi à remercier le Service de la Pêche plus précisément Mr V. Franck, Mr R. Crahay et Mr Th. Wergifosse pour l'aide qu'ils ont apportée à ce travail.

Ma reconnaissance va aussi à Laurent, Hugo, Bruno et tous les autres membres de l'URBO pour leur sympathie et pour tout ce qu'ils ont pu apporter à ce travail.

Je ne peux terminer ces remerciements sans parler de Nico (Garou), Johan le barbare, Steph notre empereur, Fabs, Oli, Christine, Steph, Van, Ouioui, Caro, Eric, Spoon, Julie et Seb. A tous un grand merci pour les grands moments et les fous rires que l'on a eus sur les bancs ou en stage tout au long de ces quatre années que je n'oublierai pas. Merci aussi à Ditch, Mat et Vio pour l'amitié que l'on partage depuis la première candidature.

Enfin je termine par les plus importants Papa, Maman, Anne et Dean pour votre soutien durant ces années d'étude et pendant ce travail.

# Table des matières :

	Pages :
I. Introduction :	1
1. Introduction	1
2. Milieu d'étude	2
2.1. Présentation générale	2
2.2. Morphologie et hydrologie	2
2.3. Composition ichtyologique du milieu	3
3. Synthèse bibliographique	4
3.1. Description générale des corégones	4
3.2. Morphologie du Coregonus lavaretus (Linnaeus, 1758)	4
3.3. Biologie de l'espèce	5
3.3.1. Description générale	5
3.3.2. Reproduction	5
3.3.3. Croissance	6
3.4. Régime alimentaire du lavaret	6
3.4.1. Au stade larvaire	6
3.4.2. Au stade adulte	7
3.5. Régime alimentaire du gardon	8
3.6. Pacage lacustre	8
3.6.1. Introduction et définition	8
3.6.2. Technique d'élevage	9
a) En cages immergées	9
b) En cages flottantes	10
c) En bassins ou en étangs	10
d'alevinage	
d) Alimentation des larves en	11
élevage	
3.6.3. Succès et comparaison des techniques	13
3.6.4. Causes de mortalité	13
3.6.5. Effet du pacage sur l'environnement	14
3.7. Historique du Coregonus lavaretus au barrage de Robertville	14
3.8. Conclusion de la synthèse bibliographique	16

II. Matériel et méthodes :	17
1. Incubation	17
2. Pacage lacustre	18
3. Mode d'échantillonnage :	18
3.1. Alevins	18
3.2. Zooplancton	19
3.3. Echantillons d'eau	20
4. Mesures effectuées :	19
4.1. Mesures effectuées sur le terrain	19
4.2. Longueur et poids	19
4.3. Contenus stomacaux	20
4.4. Zooplancton	20
4.5. Dosage des nutriments	20
4.6. Dosage de la chlorophylle <i>a</i>	22
5. Analyse des contenus stomacaux	23
5.1. Méthode d'occurrence (ou de fréquence)	23
5.2. Méthode d'abondance (ou numérique)	23
5.3. Indice de sélectivité de Chesson	23
III. Résultats :	25
1. Evolution de la physico-chimie au niveau du pacage	25
1.1. Température et pH	25
1.2. Oxygène dissous	25
1.3. Conductivité	26
2. Analyse des principaux nutriments	27
2.1. Dosage des nitrites et nitrates	27
2.2. Dosage de l'ammonium	27
2.3. Dosage du phosphore	28
2.3.1. Phosphore total	28
2.3.2. Phosphore dissous ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	28
2.4. Conclusion	28
3. Dosage de la chlorophylle <i>a</i>	29
4. Croissance des alevins de corégones	30
4.1. Croissance en taille	30
4.2. Croissance en poids	31

4.3. Taux de croissance spécifique	31
4.4. Résultats des déversements dans le lac	32
5. Evolution du zooplancton au cours de la saison	33
5.1. Zooplancton total pour les trois sites de prélèvement	33
5.2. Evolution des rotifères pour les trois sites de prélèvement	35
5.3. Evolution des cladocères pour les trois sites de prélèvement	36
5.4. Evolution des copépodes pour les trois sites de prélèvement	37
6. Calcul des indices	38
6.1. Indice d'occurrence	38
6.2. Indice d'abondance	39
6.3. Calcul des indices d'occurrence et d'abondance pour le gardon	40
6.4. Comparaison du nombre d'individus présent par estomac chez le corégone et le gardon	41
6.4. Calcul des indices de sélectivité	42
6.4.1. Corégone	42
6.4.2 Gardon	44
IV. Discussion :	45
1. Physico-chimie et dosage des nutriments	45
2. Comparaison de l'évolution de la taille, du poids et de la croissance des corégones	46
3. Analyse du régime alimentaire des alevins de <i>Coregonus lavaretus</i>	47
4. Comparaison du régime alimentaire du gardon et du corégone lavaret	48
5. Bilan du pacage réalisé au barrage de Robertville	49
V. Conclusions, perspectives	51
VI. Bibliographie	53
- Liste des figures et tableaux	
- Liste des annexes (sur CD. Rom)	







## I) Introduction

# 1. Introduction

Les premiers déversements de corégones en Région Wallonne ont été réalisés en 1978 dans les lacs de Robertville et de Bütgenbach. Cette introduction avait pour objet la valorisation de la pêche récréative et la diversification des espèces capturables. Mais aussi de combler une niche écologique vacante au sein du lac.

Au départ, deux espèces ont été utilisées : le *Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758) et le *Coregonus peled* (Gmelin, 1788) en provenance de Bohème (République Tchèque) et par la suite du lac Lemman (France).

Ces repeuplements étaient réalisés sans aucun suivi scientifique et c'est seulement à partir de 1991 que la Station de Recherches Forestières de la Région Wallonne à Gembloux et le Service de la Pêche commencèrent à suivre les déversements de corégones.

Des recherches ont aussi été menées par le laboratoire d'écologie des FUNDP dont celles de V. Tigny et C. Malbrouck en 2000 qui ont permis de modifier la stratégie des repeuplements et donc d'arrêter les déversements en corégone peled dans les deux retenues et de limiter celui du corégone lavaret au barrage de Robertville.

Afin d'optimiser les rempoissonnements, plusieurs méthodes ont été utilisées depuis 1978 : introduction

- d'adultes de plus ou moins 30 cm,
- de larves à vésicules résorbées,
- de larves dans des cages éclairées.

Cette dernière technique a été mise en place de manière à réduire le problème de prédation sur les jeunes individus et de leur garantir une bonne acclimatation au sein de l'écosystème lacustre, ceci permettant donc une meilleure survie des alevins.

L'Unité de Recherches en Biologie des Organismes dispose d'une convention avec le Service de la Pêche de la Région Wallonne et la Ligue de Propagande des Pêcheurs de l'Est pour réaliser le suivi du pacage lacustre. Celui-ci fut entrepris pour la première fois en 2002 par C. Malbrouck et P. Fossion. Il en est ressorti qu'un dépressage plus tôt dans la saison serait plus profitable pour réduire la mortalité durant l'été. Ce bien sûr dès que l'abondance en cladocères présents dans le lac au moment du lâcher est suffisante pour l'alimentation des alevins.

Ce travail s'inscrit dans cette optique d'amélioration du succès des repeuplements par l'utilisation de cages flottantes éclairées.

Sa première partie sera consacrée à une synthèse bibliographique qui débutera par la description de l'espèce étudiée, sa biologie et son régime alimentaire. Ensuite nous ferons le point sur l'historique de ce qui a été réalisé sur le corégone en Région Wallonne jusqu'à présent. Et enfin nous passerons en revue les différentes techniques de rempoissonnements et leurs succès. La seconde partie fera l'objet de la description du matériel et des méthodes utilisés lors du suivi, la troisième sera consacrée aux résultats obtenus et à la discussion de ces résultats. Et nous finirons par les conclusions de ce suivi ainsi que les perspectives de l'étude.

## 2. Milieu d'étude

### 2.1. Présentation générale

Le barrage de Robertville se situe à l'est de la province de Liège dans une vallée plutôt encaissée et est bordé de nombreuses plantations de résineux. Il est réalisé sur la Warche, rivière salmonicole affluent de l'Amblève (Fig. 1). La construction du barrage fut finalisée en 1929 par la société ELECTRABEL (anciennement ESMALUX). Un autre barrage prit place 7 km en amont : celui de Bütgenbach, qui fut terminé en 1932.

Ces barrages ont pour but principal la production d'énergie hydroélectrique, ce qui entraîne des variations saisonnières du niveau d'eau. Le barrage de Robertville est aussi utilisé comme réserve d'eau potabilisable. Dans ce contexte, le bassin de la Warche en amont du barrage est classé zone de protection «Eaux potabilisables» (Ministère de la Région Wallonne, 1994).

Le lac de Robertville est aussi exploité pour le tourisme. La pêche à la ligne y est pratiquée en barque ou du bord sous la surveillance de la Ligue de Propagande des Pêcheurs de l'Est (LRPPE) à qui la société ELECTRABEL a cédé ses droits de pêche. La LRPPE a bien sûr la charge de la gestion piscicole.

### 2.2. Morphologie et hydrologie :

Altitude (m) :	490
Longueur (km) :	3,5
Largeur (m) :	50 à 400
Superficie du lac (ha) :	63
Volume (millions m <sup>3</sup> ) :	8
Profondeur maximale (m) :	47
Profondeur moyenne (m) :	12.2
Marnage (m) :	3
Superficie du bassin versant (ha) :	11.800

Tableau 1 : Caractéristiques morphométriques et hydrologiques de la retenue de Robertville.

Le bassin versant des deux barrages repose sur un socle géologique du primaire pauvre en roche basique, pauvre en calcium et d'une grande cohésion. Les eaux de la Warche qui alimentent les barrages sont donc relativement peu minéralisées et pauvres en calcium.

Dans le lac de Robertville la température en surface dépasse rarement 20°C, le lac subit une stratification qui s'installe en mai et qui perdure jusqu'en septembre. Les conditions y deviennent anoxiques à partir de 10 m de profondeur pendant le mois d'août.

Le statut trophique du lac de Robertville est considéré comme étant méso-eutrophe tandis que celui de Butgenbach en amont est plus eutrophisé (Mergen, 2002). On observe des valeurs de chlorophylle *a* entre 4 et 40 µg/l et une zone photique de plus de 9 m en été (Mergen *et al.*, 1996).

### 2.3. Composition ichtyologique du milieu

On dénombre 16 espèces dans ce plan d'eau, l'assemblage piscicole est dominé par la population de gardon *Rutilus rutilus* L. Ceci a pu être démontré par les dernières campagnes de pêche réalisées en 2002 par le Service de la Pêche (DGRNE) et par l'URBO avec la collaboration de la LRPPE.

Cette dominance apparaît en nombre d'individus et en biomasse, excepté en automne 2002 où la biomasse des brèmes communes (*Abramis brama* L.) était plus importante. Si l'on considère les résultats des pêches des années précédentes, on remarque la dominance en biomasse du *Coregonus peled* (Gmelin) suivi des gardons, des brèmes et des perches *Perca fluviatilis* L. (Tableaux 2 et 3).

De nombreux déversements en différentes espèces sont réalisés au niveau du barrage, parmi celles-ci, le corégone, qui fait l'objet de ce travail. Mais aussi d'autres espèces telles que le brochet (*Esox lucius* L.), la truite fario (*Salmo trutta fario* L.), la truite arc-en-ciel (*Salmo gairdneri* L.), le saumon de fontaine (*Salvelinus fontinalis* L.), la carpe (*Cyprinus carpio* L.).

### 3. Synthèse bibliographique

#### 3.1. Description générale des corégones

La systématique des différentes espèces de corégones est assez complexe et suscite d'ailleurs des avis divergents. Cependant les auteurs s'accordent pour dire que les corégones font partie de l'ordre des Salmoniformes et de la classe des Téléostéens.

- Selon Reshetnikov (1988) les corégones font partie de la famille des Coregonidae, appartenant tout comme les Salmonidae à l'ordre des Salmoniformes. La famille Coregonidae (Cope 1872) comporte trois genres : *Prosopium* Milner 1818, *Coregonus* Lacépède 1804 et *Stenodus* Richardson 1836. D'après Reshetnikov (1992) la famille des Coregonidae comporterait 28 espèces (Fig. 2).

- Spillman (1961) et Pivnicka *et al.* (1987) proposent l'hypothèse selon laquelle les corégones font partie de la famille des Salmonidae et de la sous-famille des Coregoninae, dont font partie les genres *Thymallus* et *Coregonus*.

#### 3.2. Morphologie du *Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758)

Les espèces du genre *Coregonus* ont un aspect général uniforme. Le corps est allongé, fusiforme. La bouche est petite et légèrement infère. Les écailles cycloïdes sont de taille moyenne. Selon Billard (1997), on en compterait moins de 110 sur la ligne latérale.

Leur coloration est claire et brillante, argentée sur les flancs et sous le ventre (Keith et Allardi, 2001), tandis que selon Billard (1997), la partie dorsale peut être bleu verte.

Selon Pivnicka (1987), le lavaret pourrait atteindre une taille maximale de 130 cm et un poids maximal de 10 kg. Cependant il dépasse rarement les 65 cm et 2 kg selon Keith et Allardi (2001).

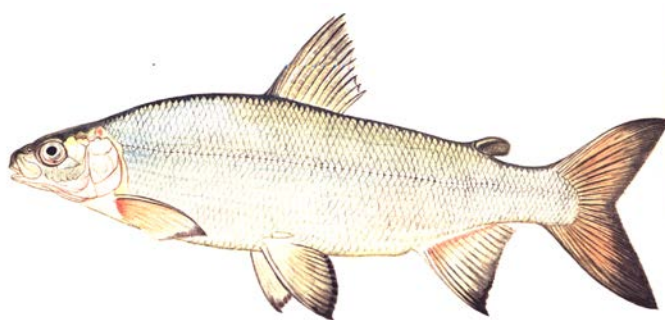


Figure 3 : Illustration du *Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758) d'après Pivnicka *et al* (1987).

Le nombre de branchiospines peut être variable, ce qui entraîne une modification de la classification en sous-espèces du *Coregonus lavaretus*. Luczynski (1986) nous décrit 4 sous-espèces présentes dans les lacs polonais :

- *C. lavaretus holsatus* (Thienemann 1916) avec de 16 à 24 branchiospines, selon Gasowska (1967; in Luczynski, 1986)
- *C. lavaretus lavaretus* (Linnaeus, 1758) avec de 22 à 25 branchiospines, selon Szczerbowski (1970; in Luczynski, 1986)
- *C. lavaretus maraena* (Bloch 1729) avec de 24 à 34 branchiospines, selon Gasowska (1967; in Luczynski, 1986)
- *C. lavaretus generosus* (Peters 1874) avec de 33 à 44 branchiospines, selon Szczerbowski (1970; in Luczynski, 1986).

Ce critère doit être pris avec précaution vu la variabilité du nombre de branchiospines en fonction du régime alimentaire (Hanazato *et al.*, 1990).

### 3.3. Biologie de l'espèce

#### 3.3.1. Description générale

Les corégones sont des poissons pélagiques lacustres (Billard, 1997) planctonophages se nourrissant de grands cladocères lacustres, mais aussi d'organismes benthiques (Keith et Allardi, 2001). La sélection de proies en fonction de leur taille semble être importante chez ce planctonophage (Sandlund *et al.*, 1987).

Les populations de corégones qui se maintiennent de manière autonome nécessitent des eaux oligotrophes ou mésotrophes, fraîches et bien oxygénées. Leur aire de répartition en Europe s'étend du nord de l'Europe centrale jusqu'au nord de la Scandinavie et des Iles Britanniques jusqu'à la limite orientale de l'Europe en Russie.

La température et l'oxygène sont les paramètres de qualité d'eau les plus importants. La température maximale létale pour le lavaret est d'environ 22°C, l'optimum étant inférieur à 15°C. Le taux d'oxygène ne devrait pas descendre sous 4 mg/l et la saturation sur les frayères devrait être supérieure à 70 % (CECPI, 1994).

#### 3.3.2. Reproduction

La maturité sexuelle est atteinte à une longueur de plus ou moins 30 cm pendant la seconde ou troisième année de vie (Rhulé, 1988 ; Brown et Scott, 1994; Karjalainen et Viljanen, 1994).

Le frai se déroule d'octobre à décembre et le développement des embryons dure 100 jours en moyenne (Pivnicka *et al.*, 1987). Selon Karjalainen et Viljanen (1994), l'incubation des oeufs pourrait durer jusqu'à six mois. Le moment de l'éclosion dépend bien sûr de la température de l'eau et peut avoir lieu après 260 à 400 ° jours (Champigneulle *et al.*, 1986).

La fécondité est élevée, de 35.000 à 55.000 œufs par kilo de poids frais (Champigneulle *et al.*, 1986). Les œufs sont petits : 2 à 3 mm de diamètre (Keith et Allardi, 2001).



La ponte a lieu sur substrat caillouteux, graveleux ou sablonneux (Luczynski, 1986). Selon Zuromska (1982), le lavaret pondrait aussi sur des plantes. Par contre les fonds vaseux peuvent provoquer une mortalité totale des œufs. Ceci est aussi à mettre en relation avec l'augmentation du taux d'eutrophisation qui réduit la survie des œufs (Champigneulle, 1985).

Selon divers auteurs, le lavaret serait susceptible de pondre à différentes profondeurs : entre 0.3-1.0 m (Zuromska, 1982), entre 7-8 m (Bernatowicz 1963, in Luczynski, 1986), entre 0 et 25 m dans le lac Léman (Champigneulle et Gerdeaux, 1992).

Le *Coregonus lavaretus* et le *Coregonus peled* peuvent s'hybrider facilement et produisent même des progénitures à fécondité assez élevée (Vostradovsky *et al.*, 1988).

### 3.3.3. Croissance

Selon Naesje *et al.* (1986) l'éclosion des œufs a lieu en mai dans le lac de Mjøsa. Le moment auquel les œufs éclosent ne dépend pas d'un stade embryonnaire précis. Une modification environnementale peut entraîner une éclosion à un stade embryonnaire précoce ou retardé (Luczynski *et al.*, 1988).

Ces mêmes auteurs décrivent d'ailleurs le développement des larves de lavaret en 14 étapes (Fig. 4) ainsi que la croissance de celles-ci (Fig. 5).

Les larves de lavarets occupent la zone littorale durant tout leur développement. Leur taux de croissance est élevé durant les premières semaines (Karjalainen et Viljanen, 1992). Ces mêmes auteurs montrent qu'au moment de l'éclosion les larves ont une longueur totale allant de 1 à 1.5 cm. La taille des larves augmente de 1.6 à 12 cm pendant le premier été et automne.

Le mémoire réalisé sur le lac Léman par Vincent (1992) nous rapporte que la longueur des larves placées en cages émergées et éclairées aux jours 0, 50 et 110 est respectivement de 12.5, 25 et 62 mm. Les poids frais correspondant sont de 6.4, 86 et 1810 mg.

Le corégone possède un potentiel de croissance important, il peut d'ailleurs atteindre un poids de 500 g en deux ans dans des lacs mésoeutrophes (Champigneulle, 1985).

Rey et Eckmann (1989) disent que dans le lac de Constance la croissance se fait en deux phases : l'une initiale lente et l'autre rapide. La transition entre ces deux phases se fait à la fin du mois d'avril, lorsque la température et la densité de zooplancton augmentent.

D'autre part les effets négatifs d'une basse température et de la non disponibilité en nourriture, plus particulièrement des cladocères, ont aussi été décrits comme limitant la croissance (Berg et Grimaldi, 1966 ; Zaugg et Pedroli, 1986).

## 3.4. Régime alimentaire du lavaret

### 3.4.1. Au stade larvaire

Après l'éclosion, les larves, encore vésiculées, ont déjà un mode d'alimentation exogène. Leur capacité d'alimentation dépend de la transition de l'alimentation endogène à l'exogène (Karjalainen et Viljanen, 1994).

Cette transition peut être plus ou moins rapide et la disparition du globule lipidique dépend de la température et de l'alimentation. Une hausse de température et une alimentation sur nourriture vivante entraînent une hausse du métabolisme, ce qui se traduit par une consommation des réserves lipidiques plus rapide (Vincent, 1992).

La première nourriture des larves serait des nauplii, de petits copepodites (Fig. 6) (Luczinsky, 1986 ; Hartmann, 1986 ; Sarvala *et al.*, 1988; Ponton et Müller, 1989 ; Cretenoy et Gerdeaux, 1997).

Par la suite, d'autres catégories d'aliments sont également consommées : insectes de surface, chironomidés, larves de cyprinidés et cladocères benthiques (Salojärvi, 1982 ; Naesje *et al.* 1986).

Le régime alimentaire change au cours de la première année, ce qui peut être observé par la disparition des nauplii et des rotifères de l'alimentation (Lindström, 1962), mais aussi par un plus grand nombre de larves de chironomidés. Ponton et Müller (1989) nous démontrent que la diversité de la nourriture présente au cours du temps est bien traduite dans la diversité des spectres alimentaires observés chez les larves de lavarets.

### 3.4.2. Au stade adulte

Le régime alimentaire du *Coregonus lavaretus* est assez large. Il comprend à la fois du zooplancton ainsi que des invertébrés benthiques : mollusques, chironomidés, gammaridae (Sandlund *et al.*, 1987; Rasmussen, 1990; Berg *et al.*, 1994).

On peut aussi trouver dans leur alimentation des insectes aériens ou des débris végétaux (Malbrouck *et al.*, non publié ; Bouda, 1997).

Vostradovsky (1986) nous rapporte que l'alimentation est principalement composée de cladocères et de copépodes, d'autres auteurs semblent le confirmer en affirmant que le lavaret est exclusivement zooplanctonophage (Becker et Eckmann, 1992).

Le lavaret semble éviter les copépodes comme proies, à l'inverse des cladocères (Skurdal *et al.*, 1985 ; Sandlund *et al.*, 1987). Berg *et al.* (1994) confirment ceci et montrent que la proportion de copépodes ingérés diminue avec la taille des individus. Les proportions de ces différentes proies dépendent non seulement d'une sélectivité mais aussi de leur variation saisonnière dans le milieu (Fig. 7) (Marciack 1979).

Parmi ce zooplancton ce sont les genres *Bosmina*, *Leptodora*, *Bythotrephes*, *Holopedium*, *Daphnia*, mais aussi des copépodes qui sont préférés (Fig. 8) (Giussani et Prejs, 1977 ; Amundsen, 1988 ; Heikinheimo *et al.*, 2000).

Heikinheimo *et al.* (2000) confirment ce spectre alimentaire assez large et ajoutent que la proportion de nourriture benthique augmente avec la taille.

Les estomacs des individus capturés au début du mois de janvier contiennent un nombre important d'œufs de corégones (Skurdal *et al.*, 1985 ; Pomeroy, 1991) et selon Sandlund *et al.* (1995) le lavaret pourrait également consommer des larves de poissons.

### 3.5. Régime alimentaire du gardon (*Rutilus rutilus* L.)

L'étude du régime alimentaire du gardon fera uniquement l'objet d'une comparaison avec celui du corégone ceci de manière à déceler une éventuelle compétition entre les deux espèces. Cette description bibliographique sera donc loin d'être exhaustive puisque n'étant pas au centre de la problématique de ce travail.

Au premier stade de l'alimentation, les larves de gardons se nourrissent exclusivement de phytoplancton et par la suite de petits organismes zooplanctoniques : rotifères, nauplii. Le matériel algal décline dans le régime au profit du zooplancton pendant la croissance des larves (Hammer, 1985).

D'après Pivnicka *et al.* (1987) le gardon se nourrit surtout de zooplancton et plus rarement d'insectes, de végétaux, de particules détritiques.

Ceci est confirmé par les résultats obtenus sur des individus adultes capturés sur le Léman (Gerdeaux, 2000). En effet les gardons, ainsi que les corégones, ne se nourrissent que d'organismes zooplanctoniques. Les principales espèces constituant le bol alimentaire du gardon sont semblables à celles du lavaret. Parmi elles, on rencontre surtout daphnies, *Bythotrephes*, copépodes cyclopoides et *Leptodora*.

Vers les mois de septembre et d'octobre, les résultats montrent aussi que gardon et corégone se tournent vers une nouvelle source de nourriture que sont les nymphes de chironomes (Fig. 9)

Le régime alimentaire du gardon contient d'autres organismes tels que des mollusques périphtiques et benthiques : *Dreissena polymorpha* et gastéropodes. Mais ils sont aussi occasionnellement herbivores et consomment des algues. Ces résultats proviennent d'une étude menée par Specziar *et al.* (1997) sur le lac Balaton, où seul les individus de plus de 15 centimètres ont été pris en considération puisque les stades jeunes sont principalement zooplanctonophages.

Selon ces mêmes auteurs, l'importance relative d'autres organismes planctoniques et benthiques serait très faible dans le bol alimentaire des individus dépassant les 15 centimètres.

### 3.6. Pacage lacustre

#### 3.6.1. Introduction et définition

Plusieurs types de repeuplements en corégones sont utilisés, tels que des déversements d'œufs embryonnés et de larves vésiculées mais ce type d'introduction n'entraîne pas de meilleure chance de survie que celle issue de la reproduction naturelle (Mack et Billard, 1984 ; Champigneulle *et al.*, 1986).

Une autre méthode mieux adaptée et visant à améliorer l'efficacité de ces repeuplements consiste à ne déverser que des individus prégressis, qui résistent donc mieux à la prédation. Cette croissance est réalisée soit en bassins, en étangs, en cages immergées ou flottantes dans le lac où les individus seront relâchés (Fig. 10) (Champigneulle *et al.*, 1986).

Cette méthode d'élevage en cages est utilisée dans différents pays européens et peut être plus ou moins élaborée, allant de la pêche de géniteurs jusqu'à l'élevage d'un stock de géniteurs élevés en bassins (Mack et Billard, 1984).

De plus, ce type d'élevage ne nécessite pas d'intervention importante de l'homme hormis le nettoyage des cages. Le coût de ce système reste lui aussi assez réduit (Zaugg et Pedroli, 1986).

L'élevage de poissons en cages consiste par définition à élever un groupe de poissons, en général, depuis le stade juvénile jusqu'à la taille commerciale en ce qui concerne les élevages à des fins économiques (Coche, 1978). En pisciculture cette technique peut en effet être intéressante au point de vue économique puisque les apports alimentaires peuvent être réduits (Webster *et al.*, 1996). Une autre possibilité est de relâcher les alevins pré-nourris dans le lac pour le renforcement des populations en place.

### 3.6.2. Techniques d'élevage

#### **a) En cages immergées**

Cette technique est utilisée notamment en France sur le lac Léman et le lac du Bourget, les cages sont submergées à 5-6 mètres sous la surface, ce qui permet d'éviter les dégâts occasionnés par les intempéries.

Cet emplacement en profondeur est un gros désavantage de la méthode puisqu'il ne permet aucune observation directe sur le comportement des alevins. Un autre point négatif est le travail de maintenance obligatoire ce qui entraîne donc un coût plus important (Rojas Beltran *et al.*, 1992).

Les avantages de l'immersion des cages sont toutefois non négligeables. Cela permet d'une part d'éviter des températures importantes à la surface en été et, de plus, la profondeur permet de minimiser le phénomène de fouling (Beveridge, 1987 in Spineux, 2000).

Les cages sont fixées à une plate-forme flottante en surface du lac (Fig. 11). Elles sont cubiques et mesurent généralement 2 mètres de côté. Le maillage des filets en nylon est de 300 à 800  $\mu\text{m}$  au départ et évolue au cours de la croissance vers des dimensions de 800  $\mu\text{m}$  à 2 mm et enfin de 5 mm pour la dernière phase (Mack et Billard, 1984 ; Vincent, 1992). Ce type de cages flexibles est le plus courant mais il existe aussi d'autres cages semi-rigides, voir rigides, composées de plastique ou de métal (Spineux, 2000).

Une lampe (100W, 24V) placée dans un système étanche est utilisée la nuit de façon à augmenter la densité en organismes zooplanctoniques à l'intérieur de la cage et ainsi permettre le nourrissage des alevins (Champigneulle *et al.*, 1986). Selon Mack et Billard (1984) cette densité pourrait être multipliée par 48 de par l'action attractive de ces lampes.

La mise en charge peut être assez variable et fait d'ailleurs l'objet d'expérimentation de façon à déterminer la densité optimale pour garantir une bonne croissance des individus. Elle va de 25.000 jusqu'à 100.000 individus par cage. Il semblerait que la survie des individus diminue avec l'augmentation de la densité (Champigneulle *et al.*, 1986).

## **b) En cages flottantes**

La technique des cages émergées est basée sur le même système mais elle possède l'avantage non négligeable de rendre possible le suivi des poissons au cours de leur croissance. Elle permet aussi de conjuguer une alimentation zooplanctonique naturelle ainsi qu'un apport supplémentaire en aliment sec dès que les besoins des fingerlings augmentent, c'est-à-dire juste après le début de l'été (Luczynski, 1986).

Les cages flottantes existent sous différentes formes : circulaires, cubiques, hexagonales. La forme dépend de l'espèce à élever et du taux de renouvellement d'eau nécessaire. Les espèces nageant activement seront plutôt placées en cages circulaires puisque celles-ci diminuent le stress des poissons en favorisant leurs déplacements. Si, par contre, un renouvellement d'eau important est nécessaire les cages circulaires seront évitées puisqu'elles réduisent le rapport surface-volume, ce qui diminue les échanges d'eau (Spineux, 2000).

Les filets utilisés sont de même type que pour les systèmes immergés. Il est bien entendu que la dimension des mailles va aussi dépendre de la taille des larves à élever et augmenter au fur et à mesure de la croissance des individus.

### **- Le fouling qui intervient avec l'utilisation de ce type de cages**

L'entretien principal des cages consiste à nettoyer les filets qui deviennent très rapidement le support d'une épaisse couche biologique (Coche, 1978). Ce travail est réalisé à l'aide d'un jet d'eau sous pression de l'intérieur de la cage vers l'extérieur.

Le biofouling peut effectivement engendrer des problèmes assez importants au niveau des cages en réduisant la circulation d'eau. Ceci peut entraîner une baisse des apports en oxygène, une diminution de l'évacuation des déchets menant à une baisse de la qualité de l'eau par leur décomposition à l'intérieur de la cage. De plus l'obstruction progressive des filets empêche aussi le mouvement des organismes zooplanctoniques dont se nourrissent les larves (Mack et Billard, 1984).

Ce phénomène est bien sûr dépendant de la taille des mailles qui sont d'autant plus rapidement obstruées par les algues qu'elles sont petites. Les mailles de départ ont généralement un diamètre compris entre 710 et 1320  $\mu\text{m}$  (Zaugg et Pedroli, 1986). La température joue aussi un rôle important puisque l'encrassement des mailles apparaît surtout lorsque la température dépasse les 10 °C (Mack et Billard, 1984).

Le fouling risque donc d'augmenter la mortalité des alevins et d'influencer négativement leur croissance.

## **c) En bassins ou en étangs d'alevinage**

Les larves de corégones en captivité peuvent être alimentées grâce à des proies vivantes, il est donc possible de les élever en bassins (Mack et Billard, 1984).

L'élevage en bassin à partir de zooplancton n'est à considérer que s'il est possible de s'en procurer vif ou congelé à faible coût car la quantité de zooplancton nécessaire pour un tel élevage est très importante. Les densités doivent être comprises entre 200 et 260 individus par litre (Champigneulle, 1985).

La croissance et la survie des individus peuvent être accrues par la mise en place de lampes qui permettent l'alimentation des larves même durant la nuit et augmentent la densité du zooplancton dans les zones éclairées, facilitant ainsi la prédation des larves.

Les conditions optimales d'élevage en bacs ont été synthétisées par Rösch (1995), les larves de lavarets sont maintenues à des températures allant de 12 à 18 °C. Si elles sont nourries à l'aide d'aliments secs une température de 12 °C est vraiment minimale, c'est à 16 °C que les résultats de croissance et de mortalité sont supérieurs à ceux obtenus à 12 °C.

En ce qui concerne l'intensité lumineuse elle doit être faible pour la prise d'aliments vivants et ne doit pas être inférieure à 200 lux à la surface s'il s'agit d'aliments secs. Enfin les résultats montrent qu'un éclairage et un apport alimentaire en continu donnent de meilleurs résultats de croissance comparativement à des individus élevés avec un nourrissage continu pendant neuf heures et à la lumière du jour.

L'élevage de corégones peut également se faire en étangs, il est alors dit extensif contrairement à l'élevage en cage qui est semi-intensif et en bassin intensif (Rasmussen, 1988). Cette technique est surtout utilisée en Tchécoslovaquie et en Finlande, les étangs d'alevinage utilisés sont généralement enrichis par une fertilisation organique et leur mise en charge ainsi que le succès de leur récolte sont présentés sur le tableau 4 (Champigneulle, 1985).

Ces étangs ont généralement une profondeur d'un mètre et font l'objet d'une mise en charge de 10.000 à 50.000 alevins vésiculés par hectare, la production atteint 50 à 150 kg de préestivaux par hectare. Le déversement des larves peut être réalisé deux semaines après la mise en eaux à condition que la température soit supérieure à 15 °C. Dans le cas où la température y est plus basse il doit être effectué de manière précoce afin que la biocénose présente au moment du déversement soit à un stade plus avancé (Mack et Billard, 1984).

La production d'un tel élevage est très variable d'un étang à l'autre et d'une année à l'autre. Ces différences sont dues à la variabilité des espèces zooplanctoniques présentes et de leur densité. La croissance des individus est accélérée dans ce type d'étangs grâce à leur réchauffement rapide.

Pour une production optimale le choix de l'étang se tournera vers celui qui se réchauffe plus rapidement au printemps et où le contrôle de la biocénose sera réalisé (Champigneulle, 1985).

#### **d) Alimentation des larves en élevage**

Le passage à une alimentation exogène est une période critique pour les alevins, c'est à ce moment que la mortalité est importante. L'alimentation peut commencer très tôt, de quelques heures après l'éclosion à plusieurs jours (Mack et Billard, 1984 ; Karjalainen et Viljanen, 1994).

La rapidité à laquelle les larves vont s'orienter vers une nourriture exogène va dépendre de plusieurs paramètres, parmi lesquels la température, le rythme de distribution, la nature de l'aliment et la densité larvaire (Rojas Beltran *et al.*, 1992). Les larves peuvent se nourrir de zooplancton. La taille du zooplancton doit être comprise entre 50 et 300 µm.

La difficulté de prise de nourriture dépend aussi de la vitesse de nage des alevins à la recherche de nourriture et de la portée visuelle. Celle-ci est de l'ordre de dix millimètres pour des alevins de *Coregonus lavaretus*, d'où l'importance de la densité des proies pour l'alimentation des alevins (Mack et Billard, 1984).

Après l'éclosion l'alimentation la plus petite possible sera conseillée puisque les taux de survie les plus importants ont été obtenus avec des paramécies, des rotifères et des *Moina* sp. (Mack et Billard, 1984). Le phyllopode *Artemia salina* peut aussi constituer une très bonne nourriture pour l'élevage des larves de corégones à leur premier stade.

Les aliments inertes ont un succès mitigé d'après la littérature, néanmoins de bons résultats ont été obtenus par Mamcarz (1986). La survie des individus élevés à l'aide de nourriture sèche était plus importante que celle des individus nourris avec du zooplancton. En ce qui concerne leur croissance elle reste plus grande quand ils sont alimentés au zooplancton (Mamcarz, 1986).

La possibilité de production de préestivaux sur aliments secs est confirmée : les nourritures sèches sont le plus souvent composées de levure, de foie de bœuf séché, huile de foie de morue et de vitamines et sels minéraux. La composition optimale en protéines est de 34 % (Koskela, 1995). Tandis que pour les lipides si on teste des taux compris entre 12 et 27 % on remarque qu'il n'existe que peu de différence de croissance par contre on modifie la composition chimique des tissus (Koskela *et al.*, 1998). De meilleurs taux de survie sont obtenus avec ce type d'aliments secs et les larves nourries dès les premiers stades avec de l'aliment sec montraient une bonne aptitude à repasser à une nourriture zooplanctonique en cages.

Les nourritures inertes qui coulent peuvent rester non consommées sur le fond de la cage et entraîner une diminution de la qualité d'eau par leur décomposition, il sera donc plus judicieux d'utiliser des nourritures flottantes (Mack et Billard, 1984 ; Webster *et al.*, 1996).

En pacage lacustre la nourriture du *Coregonus lavaretus* sera composée du zooplancton du lac qui est attiré par les lampes. Cette méthode est basée sur le tropisme qu'a le zooplancton pour la lumière. Ce qui permettra donc d'augmenter la densité zooplanctonique dans la cage (Champigneulle *et al.*, 1986).

Les densités sont plus faibles à l'intérieur de la cage que dans les eaux environnantes durant le jour, avec des mises en charge comprises entre 6000 et 12.500 individus par mètre cube, l'abondance zooplanctonique est divisée par deux ou trois sous l'effet de la prédation. Et durant la nuit, la densité est multipliée par quatre ou cinq à l'intérieur de la cage par rapport aux eaux du lac (Marciak, 1979).

Les lavarets se nourrissent donc du zooplancton attiré par ces lampes. On peut observer une augmentation importante du nombre d'organismes dans l'estomac des larves de lavarets élevées en cages en mai et juin, c'est à dire au moment où l'augmentation de la densité de zooplancton est la plus marquée. Le nombre de proies capturées passe de 50 individus par poisson à la mi-mai à 100 individus à la mi-juin (Mamcarz et Murawska, 1988).

Après quelques semaines de stockage les individus les plus grands semblent se tenir dans le haut de la cage près de la paroi où le plancton de plus grande taille (stade copépodite, *Cyclops* sp.) est poussé par le vent. Par contre les individus de petite taille se trouvent en profondeur et au milieu de la cage et se nourrissent de rotifères (Mamcarz, 1995).

### 3.6.3. Succès et comparaison des techniques

La tendance des repeuplements en corégones se fait donc via la production de préestivaux ou d'estivaux par les différentes techniques précitées. Ces méthodes sont effectivement celles qui donnent les meilleurs résultats d'estimation de survie par rapport à des repeuplements en alevins vésiculés qui donnent des estimations de survie de l'ordre de 2 à 4 ‰ (Tableau 5) (Champigneulle, 1985).

Au niveau de la croissance en poids des individus, ce sont ceux élevés en bassins à une température de 15 °C et sur aliment sec qui montrent la meilleure croissance. Ceci comparativement à ceux élevés sur d'autres types de nourritures ou élevés en cages immergées.

La survie des individus durant leur élevage est variable on peut observer des taux de l'ordre de 35 % en cages éclairées avec une densité de 4300 individus par mètre cube, mais ce taux de survie diminue lorsque l'on accroît la densité. Pour l'élevage en bassins le taux de survie est de l'ordre de 20 % pour une mise en charge de 30 individus par litre (Champigneulle, 1986).

En ce qui concerne l'effet de la température sur la production d'alevins de corégones, Dostani *et al.* (1999) nous présentent une comparaison entre deux groupes d'individus élevés à des températures différentes. La température est le facteur influençant le plus l'activité métabolique et aura donc un impact majeur sur la production.

Le premier groupe qu'il appellera A a été élevé en bassins à une température de 14 °C, le second dit B à 18 °C. Les résultats ont montré que les individus du groupe A avaient une croissance inférieure à ceux de B tant au point de vue de la taille que du poids. En ce qui concerne la mortalité elle était plus importante chez les individus du groupe B. Au niveau de l'élevage en cages qui a suivi, les individus pré-élevés à 18°C conservent une meilleure croissance puisqu'ils sont capables de se nourrir de proies plus grandes que ceux du groupe A. Les figures 12 à 15 nous présentent ces différents résultats.

Malgré la dépendance du pacage au climat et l'effet important du colmatage sur celui-ci, l'élevage en cages semble être une technique donnant de bons résultats pour un faible coût (Vincent, 1992). Les performances de ce système sont toutefois assez variables et fonction du lac où il est mis en place. Les meilleurs résultats sont obtenus dans de petits lacs chauds et productifs (Champigneulle, 1985).

### 3.6.4. Causes de mortalité

En ce qui concerne les élevages en cages il n'y a pas de cause unique de mortalité. Le manque et la qualité de la nourriture sont certainement les causes les plus importantes de mortalité au moment où l'alimentation devient exogène (Mamcarz et Murawska, 1988).

Les alevins peuvent aussi être atteints d'affections parasitaires et ce risque est augmenté par la présence d'autres espèces sauvages autour des cages. En effet ces individus sont en compétition avec ceux de la cage pour le zooplancton attiré par la lumière émise par les lampes. Le problème réside dans le fait que ces poissons sauvages sont porteurs de toute une série de parasites facilement transmissibles aux individus des cages. Ce type de pathologie parasitaire se traduit par de petites lésions sur les branchies causant le plus souvent des mortalités d'alevins. Un autre impact sur les larves est celui de la prédation exercée par les copépodes pendant la première semaine d'élevage (Mamcarz, 1995).



Dans les eaux eutrophisées un autre phénomène est l'apparition de blooms algaux qui s'accompagnent souvent d'une accumulation de détritus sur les branchies et donc favorisent le développement de maladies bactériennes branchiales (Mamcarz, 1995).

D'autre part de tels lacs eutrophes possèdent des densités importantes de phytoplancton. Ceci peut entraîner des hausses importantes de la concentration en oxygène dans les eaux du lac durant les journées ensoleillées, favorisant donc l'activité photosynthétique. Cette sursaturation en oxygène peut entraîner des mortalités importantes dans les cages par le phénomène d'embolie gazeuse « Gaz Bubble Disease » (Mamcarz, 1990).

### 3.6.5. Effets du pacage sur l'environnement

Dans le cas d'une culture intensive en cages l'élevage peut influencer plus ou moins fortement sur l'environnement et mener à une eutrophisation du milieu, d'autant plus que les quantités de déchets alimentaires et de fèces sont importantes (Mamcarz, 1995; Spineux, 2000).

Le système de pacage lacustre réduit les apports d'aliment externe en attirant le zooplancton du milieu, les effets d'eutrophisation devraient donc en être réduits. Néanmoins Mamcarz (1995) fit une étude sur les effets des cages sur leur environnement. Il semblerait qu'aucune différence de température et d'oxygène ne soit observable entre l'intérieur et l'extérieur de la cage. En réalité le pacage lacustre n'engendre aucune modification chimique dans les eaux entourant le système. Les seules différences observées entre les paramètres physico-chimiques des échantillons de l'intérieur et de l'extérieur sont dus au fouling qui diminue les échanges d'eau.

Au niveau zooplanctonique le pacage lacustre peut mener à une diminution considérable de la biomasse dans les eaux autour des cages. Les cages illuminées sont aussi à la base de modifications de comportement alimentaire de poissons zooplanctonophages en les attirant dans leur périmètre. Pour ce qui est de l'accumulation du zooplancton dans les cages l'effet positif des lampes n'est plus à démontrer mais il n'est pas le seul facteur puisque la température, l'oxygène et les relations biotiques peuvent aussi être déterminantes dans la dynamique zooplanctonique (Mamcarz, 1995)

### 3.7. Historique du *Coregonus lavaretus* au barrage de Robertville

Les déversements de corégones sur les retenues de Robertville et de Bütgenbach ont débuté en 1978.

Les espèces déversées étaient le *Coregonus lavaretus* et le *Coregonus peled* mais aussi probablement des individus hybrides, vu les conditions d'élevage en commun dans les étangs de grossissement. Ces repeuplements visaient à augmenter le nombre d'espèces capturables au sein des deux plans d'eau (Gerdeaux *et al.*, 1996).

Tableau 6 : Déversements en corégones dans le lac de Robertville entre 1978 et 1999 (LT= longueur totale en cm, BT= biomasse totale en kg, Ab= abondance en nombre d'individus, PMI= poids moyen individuel en g).

Date	LT (cm)	BT (kg)	Ab. (n)	PMI (g)	Espèces
NOV-78	5-6		25.000		Inconnue
NOV-79	12-30	1250			Inconnue
NOV-80					Inconnue
NOV-81		675			Inconnue
NOV-82		570			Inconnue
NOV-83		437			Inconnue
NOV-84		525			Inconnue
NOV-85		500			Inconnue
NOV-86		570			Inconnue
NOV-87		850			Inconnue
NOV-88		750			Inconnue
NOV-89	19-29	750		177	Inconnue
NOV-90	26-30	750		220	Inconnue
NOV-91	26-35	750		200	99.7% <i>C.lavaretus</i>
NOV-92	18-30	750		144	Princip. <i>C.lavaretus</i>
NOV-93	12-22	900		49	Princip. <i>C.lavaretus</i>
NOV-94	21-33	900			74% <i>C.lavaretus</i>
OCT-95	12-42	900			99.7% <i>C.lavaretus</i>
FEV-96	2		1.200.000		<i>C.lavaretus</i> larves
NOV-97	3.1-3.9				<i>C.lavaretus</i>
NOV-98	1.2-1.6				<i>C.lavaretus</i>
JAN-99	2.8-4.0				<i>C. peled</i>

Les déversements effectués au sein du lac de Robertville (Tableau 6) indiquent que ce sont donc principalement des sujets de 15 à 35 cm qui ont été introduits depuis 1978, les quantités déversées étaient généralement de 750 kg par an, ce qui correspond à une densité de 12 kg par ha et par an. Par la suite un ajustement a été réalisé et la quantité déversée a été portée à 900 kg vu la profondeur plus importante des eaux de Robertville (Gerdeaux *et al.*, 1996). Durant l'année 2000 aucun déversement en corégones n'a été réalisé.

Les repeuplements par pacage lacustre sont effectués depuis 2001, ceci à l'initiative de la LRPPE et de R. Crahay, agent technique du Service de la Pêche. Ce système de cages éclairées a fait l'objet d'une étude menée par l'URBO en 2002, afin d'affiner la stratégie de repoissonnement.

En 2001, selon les données du Service de la Pêche, ce sont environ 65.000 larves qui ont été placées dans les cages. Tandis que pour l'année 2002, 300.000 œufs ont été incubés à la pisciculture du Service de la Pêche à Emptinne, ces œufs provenaient de la pisciculture de Rives à Thonon-les-Bains (France). Ensuite 90.000 larves ont été disposées dans huit cages sur le lac de Robertville, d'où finalement 36.200 alevins ont été relâchés.

Le suivi des déversements en corégones n'a donc été réalisé que très tard après son introduction puisque ce n'est qu'en 1991 que la Station de Recherches Forestières de la

Région Wallonne à Gembloux et le Service de la Pêche commencèrent à suivre les déversements de corégones.

Par la suite plusieurs études ont été effectuées, visant plus particulièrement les populations de corégones (Bouda, 1997), le régime alimentaire du *Coregonus lavaretus* et du *Coregonus peled* par Malbrouck (2000) et Tigny (2000), l'ichtyologie du plan d'eau (Mergen, 2002).

Ces recherches ont permis de tirer plusieurs conclusions sur les populations de corégones et sur leur déversement. Elles ont entre autres prouvé qu'aucune reproduction de corégones n'avait lieu dans le plan d'eau (Gerdeaux *et al.*, 1996; Bouda, 1997).

En ce qui concerne un réservoir comme celui de Robertville l'effet du marnage mènerait à une mortalité totale sur les pontes situées en zone littorale. Cette hypothèse est émise par Gerdeaux *et al.* (1996).

Une autre possibilité envisagée par ces auteurs serait que l'absence de recrutement résulterait d'une relation interspécifique : le gardon étant l'espèce dominante de la retenue il pourrait influencer sur la survie des larves (Gerdeaux *et al.*, 1996).

Les études menées sur le régime alimentaire ont permis de réorienter les déversements en repeuplant uniquement en lavaret uniquement à Robertville vu le niveau trophique moins élevé et le souhait des pêcheurs (Malbrouck, 2000 ; Tigny, 2000).

En ce qui concerne le pacage lacustre un dépressage plus rapide permettrait une meilleure survie des larves ainsi qu'une meilleure croissance pour les individus captifs. Le système de lampes semble bien être un atout considérable pour augmenter le rendement de l'ensemble (Micha *et al.*, 2002).

### 3.8. Conclusion de la synthèse bibliographique

Ce travail va donc mettre l'accent sur l'étude du régime alimentaire du *Coregonus lavaretus*, au sein du pacage lacustre. Une comparaison de régime alimentaire sera faite avec le gardon ceci de façon à déceler une éventuelle compétition interspécifique. Cette comparaison se fera lors de pêches visant à capturer d'une part des alevins de corégones préalablement déversés et d'autre part des gardons.

L'étude de la croissance des individus à l'intérieur des cages sera aussi réalisée ceci en comparant deux groupes d'individus. L'un élevé à Tihange à une température de 18°C et l'autre à Emptinne à 8°C. Il sera donc intéressant de suivre ces deux lots au cours de leur croissance.

Nous mettrons aussi en évidence l'effet de cet élevage sur le zooplancton à l'intérieur et aux alentours du pacage. Un suivi continu de la physico-chimie sera décrit ainsi qu'un suivi de la qualité d'eau via le dosage des nutriments et de la chlorophylle *a* présent dans le lac.

Le travail s'inscrit donc dans une optique d'optimisation de l'utilisation des cages flottantes éclairées pour le repoissonnement en corégone lavaret.

## II) Matériel et méthodes

## 1. Incubation

Les œufs proviennent de la pisciculture de Rives à Thonon-les-Bains. C'est 400.000 œufs au stade oëillé qui ont été reçus le 23 janvier à la pisciculture du Service de la Pêche de la Région Wallonne à Emptinne. Ces œufs ont été prélevés sur des géniteurs du lac Léman le 27 décembre 2002 et ont subi une fertilisation artificielle à sec. Pour cette fécondation artificielle la laitance de 15 à 20 mâles est utilisée pour les œufs de 3 à 4 femelles.

Ils ont ensuite été répartis dans quatre bouteilles de Zug de trois litres où ils ont été incubés. Durant l'incubation les œufs sont continuellement maintenus en mouvement par le courant d'eau ascendant. Les bouteilles sont reliées à une auge de 220 cm. Les œufs ont commencé à éclore le 4/02/03.

Une fois l'éclosion débutée les larves remontent dans la bouteille et sont entraînées par le courant d'eau vers l'auge via des tubes en PVC.

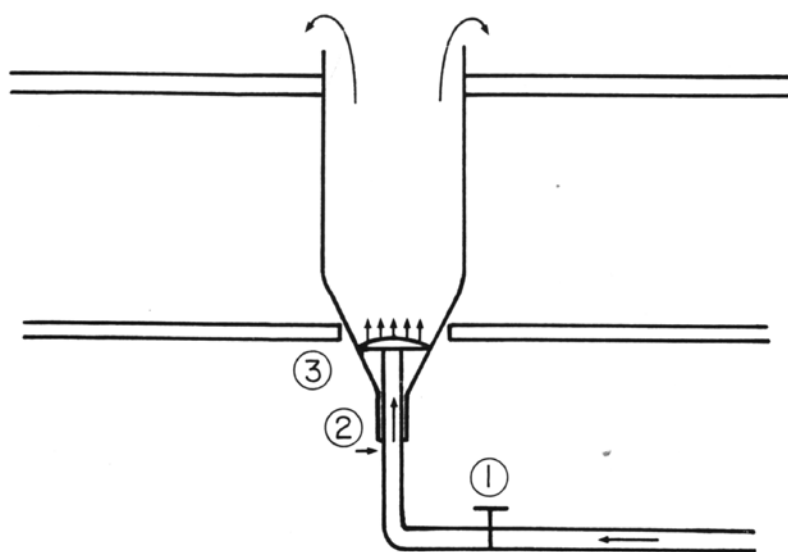


Figure 16 :  
Schéma d'une  
bouteille de Zug  
1) robinet  
2) manchon  
démontable  
permettant de  
retirer la bouteille  
et son contenu.  
3) admission  
d'eau

L'eau circule de bas  
en haut provoquant  
ainsi le mouvement  
continu des œufs

(Mack et Billard, 1984)

Les larves ont ensuite été réparties en deux groupes. Le premier, de plus ou moins 150.000 larves, a été conservé à Emptinne dans un bac cylindro-conique de mille litres. L'alimentation en eau se fait par une source, sa température est de 8 °C et elle ne subit aucun traitement particulier sauf peut être une émulsion pour dégazer le CO<sub>2</sub> trop concentré. L'alimentation des larves fut réalisée à l'aide d'un nourrisseur automatique. L'aliment utilisé était Proton 2/3 (Inve) de 200 à 300 µm et par la suite Proton 4 de 300 à 500 µm.

Le second groupe de larves a été transporté à la pisciculture de Tihange Aqua Farm. Une partie des larves est placée dans deux bacs rectangulaires de 400 litres.

La température de l'eau dans ces bacs est de 16 °C. L'eau y circule en circuit fermé avec un renouvellement d'eau pompé de la nappe. Les bacs sont munis d'aérateurs. L'autre groupe a été placé en bac cylindro-conique de 800 litres à une température d'eau de 14 °C.

Par la suite tous les individus ont été rassemblés dans un bassin cylindrique de 23 m<sup>3</sup> à une température de plus ou moins 18 °C. La nourriture fournie a d'abord été du Nippai premier âge et ensuite la même nourriture qu'à Emptinne ainsi que des *Artémia* sp.

## 2. Pacage lacustre

Quatre cages de deux mètres de diamètre et de trois mètres de profondeur sont utilisées, les larves y sont réparties de façon uniforme en veillant à ce que des individus d'Emptinne et de Tihange soient séparés vu leur différence de taille. La flottaison est assurée par des cubis (Aqua technica) en plastique. Les filets composant les cages sont de différentes tailles en fonction du stade de croissance des individus, ils mesurent 900  $\mu\text{m}$  pour les individus provenant d'Emptinne et 1300  $\mu\text{m}$  pour les individus provenant de Tihange. Ces quatre cages sont cylindriques et possèdent des lampes de 100 watt. Les alevins sont aussi alimentés en continu à l'aide de nourrisseurs automatiques.

L'estimation menée lors du déversement montre que dix milles alevins ont été déversés en provenance d'Emptinne dans une des cages et les trois autres ont fait l'objet de la même mise en charge de plus ou moins 3300 individus en provenance de Tihange. Les poissons élevés à Tihange avaient un poids moyen de 0.394 g et une longueur totale de 41.4 mm tandis que ceux d'Emptinne pesaient 0.0371 g et mesuraient 18.8 mm de moyenne. Ceci mettant bien sûr en évidence les différences de température durant l'élevage.



Figure 17 : Photo du pacage lacustre placé à Robertville.

## 3. Méthode d'échantillonnage

### 3.1. Alevins

Un suivi hebdomadaire des alevins est réalisé, par prélèvement de 10 alevins venant de Tihange ainsi que 10 individus d'Emptinne. Ces alevins sont ensuite placés dans du formol 5% pour l'analyse ultérieure en laboratoire.

Une fois le dépressage débuté des pêches sont effectuées de manière à recapturer des fingerlings de corégone lavaret mais aussi des gardons pour l'analyse du régime alimentaire et la détection d'une éventuelle compétition. Ces pêches sont faites à l'aide de filets maillants

horizontaux en Nylon, l'espace inter nœuds des mailles est de 10 mm et de 20 mm pour une section de 0.14 mm.

Ces filets possèdent une ralingue supérieure avec flotteurs incorporés et une ralingue inférieure plombée. En réalité deux types de filets sont utilisés : ceux possédant une ralingue inférieure fortement plombée qui sont dit de fond et d'autres plus légèrement plombés qui sont eux de surface. Les corégones et les gardons récoltés font l'objet d'une dissection et leur estomac est placé dans du formol 5% pour l'analyse en laboratoire.

### 3.2. Zooplancton

Les échantillons sont prélevés à l'aide d'une trappe de Schindler de 20 litres possédant un filtre de 63  $\mu\text{m}$ . Les prélèvements sont effectués en triplicatas et trois sites ont été choisis : l'un dit IN, un NEXT et le dernier OUT. Ces échantillons sont réalisés sur les mêmes cages que celles des prélèvements d'alevins.

- L'échantillon IN est prélevé directement à l'intérieur des cages.
- NEXT est un prélèvement à côté des cages.
- Et enfin l'échantillon OUT à une vingtaine de mètres du pacage.

### 3.3. Echantillons d'eau

Un échantillon de deux litres est prélevé en surface de manière à réaliser les dosages de nutriments dans l'environnement du pacage.

Le dosage de chlorophylle *a* est aussi réalisé sur ces échantillons, de manière à évaluer le niveau trophique du lac.

## 4. Mesures effectuées

### 4.1. Mesures effectuées sur le terrain

Plusieurs paramètres de l'eau sont suivis de façon continue au niveau du pacage dès que les larves y sont placées. Nous avons donc réalisé le relevé de la température ( $^{\circ}\text{C}$ ), de la conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), de l'oxygène dissous (en % de saturation et en  $\text{mg}/\text{l}$ ) ainsi que le pH. Ces mesures sont prises à l'aide d'une sonde multiparamétrique Ysi Escolab.

### 4.2. Longueur et poids

Les poissons prélevés durant le suivi hebdomadaire ainsi que ceux capturés pendant les pêches feront l'objet de ces mesures. La longueur totale est prise à l'aide d'une latte au mm près. Il s'agit de la longueur séparant l'extrémité antérieure de la tête et l'intersection avec la perpendiculaire descendue du rayon le plus long de la nageoire caudale (Mamcarz, 1986).

Tous les poissons sont aussi pesés à l'aide d'une balance digitale avec une précision au dixième de mg.

Une estimation de la croissance est aussi faite, ceci à partir du poids formolé des individus. On peut donc calculer le taux de croissance spécifique à partir de ce poids, aussi appelé SGR pour Specific Growth Rate.

→  $SGR = 100 \cdot (\ln P_f - \ln P_i) / (t_f - t_i)$

Ceci est exprimé en %/jour avec  $P_f$  et  $P_i$  qui sont respectivement les poids au temps  $t_f$  et  $t_i$  (Champigneulle et Rojas Beltran, 1990).

#### 4.3. Contenus stomacaux

Durant le suivi du pacage les larves prélevées sont directement placées dans des flacons contenant du formol 5%, la dissection de l'estomac sera donc faite en laboratoire. Les individus capturés lors des pêches sont disséqués et le tube digestif est coupé de chaque côté de l'estomac. Celui-ci est alors prélevé et placé dans du formol 5%. L'analyse de son contenu se fera au laboratoire.

L'estomac est disséqué sous la loupe binoculaire puis son contenu est placé dans une boîte de Pétri. L'entièreté du contenu stomacal est alors placé dans un flacon d'une solution de formol 5% de volume connu. Avant son analyse sous microscope le flacon est agité de façon à garantir une bonne homogénéisation de l'échantillon.

Une fraction de volume connu est alors prélevée et est observée au microscope inversé (Leica, modèle DMIL) aux grossissements allant de 40 à 400 fois. Le comptage des organismes peut alors commencer. Le volume de la fraction prélevée est bien sûr fonction de la densité d'organismes présents dans l'estomac analysé.

#### 4.4. Zooplancton

L'analyse du zooplancton est également effectuée par comptage des individus au microscope inversé. Le prélèvement est tout d'abord laissé au repos pour décanter tous les organismes présents, puis l'échantillon est concentré au maximum en retirant un maximum d'eau. Le concentré peut être placé dans un flacon et porté à volume connu à l'aide de formol 5%.

→ Tous les organismes zooplanctoniques ont été déterminés à l'aide des clés de détermination de Harding et Smith (1974), Amoros (1984) et Pontin (1978).

#### 4.5. Dosage des nutriments

Nous réalisons un dosage des principaux nutriments c'est à dire l'azote sous forme de nitrite, de nitrate et ammonium mais aussi le phosphore sous la forme phosphore total et phosphate. Ces dosages sont faits à partir de l'eau filtrée pour le dosage de chlorophylle sauf le phosphore total qui est dosé à partir d'eau brute.

Dosage de l'azote

Nitrates

Solutions étalons : utilisation d'une solution Merck diluée 50x

- |  |                             |
|--|-----------------------------|
| - 2000 µl de solution Merck                            | 4.5 mg N-NO <sub>3</sub> /l |
| - 1000 µl de solution Merck + 1000 µl H <sub>2</sub> O | 2.3 mg N-NO <sub>3</sub> /l |
| - 0 µl de solution Merck + 2000 µl H <sub>2</sub> O    | 0 mg N-NO <sub>3</sub> /l   |



Le dosage se fait à partir de 2000 µl d'échantillon auquel on ajoute 200 µl d'une solution de 0.1g de salicylate de sodium dilué dans 20 ml d'eau. L'échantillon est chauffé afin d'évaporer la solution. Une solution de 500 µl de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré est ajoutée à la poudre récupérée après chauffage. Par la suite on ajoute successivement 4000 µl d'eau et 4000 µl de bitartrate de NaOH fait à partir de 30g de bitartrate de NaK et de 200g de NaOH dilué dans 500 ml d'eau.

Une fois tout ceci réalisé, les échantillons sont passés au spectrophotomètre où la transmittance est lue à 420 nm.

#### Nitrites

Solutions étalons : utilisation d'une solution Merck diluée 100x

- 125 µl de solution Merck + 1875 µl H <sub>2</sub> O	190.25 mg N-NO <sub>2</sub> /l
- 70 µl de solution Merck + 1930 µl H <sub>2</sub> O	106.56 mg N-NO <sub>2</sub> /l
- 0 µl de solution Merck + 2000 µl H <sub>2</sub> O	0 mg N-NO <sub>2</sub> /l

Le dosage se fait à partir de 2000 µl d'échantillon auquel on ajoute 200 µl d'une solution d'un réactif composé de 5 g de sulfanilamine de 0.25 g de N-1-naphthylethylenediamine dihydrochloride de 450 ml de H<sub>2</sub>O et de 50 ml de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> concentré. Ce réactif doit agir pendant une dizaine de minutes. Ensuite la lecture se fera à 540 nm.

#### Ammonium

Solutions étalons : utilisation d'une solution Merck diluée 100x

- 200 µl de solution Merck + 1800 µl H <sub>2</sub> O	0.776 mg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l
- 100 µl de solution Merck + 1900 µl H <sub>2</sub> O	0.388 mg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l
- 0 µl de solution Merck + 2000 µl H <sub>2</sub> O	0 mg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l

Le dosage se fait à partir de 2000 µl d'échantillon auquel on ajoute 200 µl d'un réactif salicylate qui se compose de 13 g de salicylate de sodium, de 13 g de citrate trissodique, de 0.1 g de nitroprussiate de sodium et de 100 ml d'eau. Ensuite un second réactif est ajouté, celui-ci est une solution de dichloroisocyanurate de sodium faite de 3.2 g de NaOH que l'on dissout dans 100 ml d'eau et de 0.2 g de dichloroisocyanurate de sodium. La lecture au spectrophotomètre peut alors être réalisée à 655 nm.

#### Dosage du phosphore

##### Phosphates

Solutions étalons : utilisation d'une solution Merck diluée 100x

- 1000 µl de solution Merck + 9000 µl H <sub>2</sub> O	326.1 mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l
- 500 µl de solution Merck + 9500 µl H <sub>2</sub> O	163.1 mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l
- 250 µl de solution Merck + 9750 µl H <sub>2</sub> O	81.5 mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l
- 100 µl de solution Merck + 9900 µl H <sub>2</sub> O	32.6 mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l
- 0 µl de solution Merck + 10 000 µl H <sub>2</sub> O	0 mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l

Le dosage se fait à partir de 10 000 µl d'échantillon auquel on ajoute 2000 µl d'un mélange de réactif pendant 10 minutes. Après cela, la lecture peut être réalisée à 885 nm.

Composition du mélange :

- 1.5 ml d'acide sulfurique 5N
- 450 µl de molybdate d'ammonium (4g de heptamolybdate d'ammonium tétrahydrate et 100 ml H<sub>2</sub>O)

- 150 µl de solution d'émétique (0.1g d'oxytatrate de potassium antimoine et 40 ml H<sub>2</sub>O

Phosphore total :

Le dosage du phosphore total est réalisé à l'aide de la même méthode que les orthophosphates mais il nécessite une étape de digestion préalable avec un mélange de réactifs : 1.5 g NaOH, 5 g K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 3 g, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>.

Ce réactif est dissout dans 100 ml d'eau et est préparé le jour du dosage. On peut ensuite placer 5 ml de l'échantillon auquel on ajoute 600 µl du réactif de digestion dans une autoclave à 120°C pour une durée de 2 heures. Après refroidissement à température ambiante le dosage proprement dit peut être réalisé en suivant le protocole de dosage du phosphate.

#### 4.6. Dosage de la chlorophylle *a*

Le suivi du phytoplancton est assuré par l'équipe du prof. J.-P. Descy (Laboratoire d'écologie des eaux douces, URBO-FUNDP). Il est réalisé à l'aide de biomarqueurs des algues planctoniques (Descy *et al.*, 2000).

En voici le protocole :

Lors de chaque campagne de prélèvement, 1600 ml d'eau brute sont filtrés sur filtre Whatman GF/C et conservés au froid. L'extraction du matériel algal retenu sur les filtres est réalisé en plaçant le filtre GF/C dans une fiole à scintillation en verre de 20 ml, dans laquelle on ajoute 10 ml d'acétone 90 % de qualité HPLC. Les fioles sont placées dans un bain à ultrasons de marque Branson, modèle 2510, dans de la glace fondante, et soniquées pendant 15 min. Elles sont ensuite placées une nuit au frigo à 4°C, puis soniquées de nouveau, dans le même appareillage, pendant 15 min.

L'extrait est ensuite filtré sur des cartouches filtrantes de 0,22 µm de porosité et placé dans une fiole en verre sombre de 3 ml. Ces fioles sont stockées au congélateur jusqu'à l'analyse.

Le système HPLC utilisé pour l'analyse comprend un « Waters multisovent delivery system », un injecteur automatique Waters et deux détecteurs : un détecteur à barrettes de diodes (PDA) Waters 996 et un fluorimètre Waters 470 (réglé pour la détection optimale des chlorophylles et autres pigments).

La séparation des pigments est obtenue par un gradient ternaire de 30 min. La colonne est une Waters Nova-Pak C18 de 25 cm de long. De façon standard, le volume injecté est de 50 µl. La calibration est effectuée sur base de droites de calibration comportant 3 à 4 points, par injection de volumes croissants de solutions-standards.

L'identité des pigments est fréquemment vérifiée par comparaison avec une librairie de spectres de pigments, obtenue par acquisition de chromatogrammes de pigments purs ou d'extraits acétoniques d'algues en culture pure.

La conversion des concentrations des pigments spécifiques en valeurs de biomasse comparables d'une classe d'algues à l'autre a été réalisée au moyen du programme CHEMTAX (Mackey *et al.*, 1996). Ce programme fournit une estimation de la biomasse des

différentes classes d'algues en équivalents chlorophylle *a*, sur base de plusieurs pigments marqueurs par classe d'algues.

## 5. Analyse des contenus stomacaux

Deux méthodes d'analyses sont choisies : c'est la méthode d'occurrence et la méthode d'abondance. Un calcul d'indice de sélectivité de Chesson fut lui aussi effectué.

### 5.1. Méthode d'occurrence (ou de fréquence) (Hyslop, 1980)

On compte le nombre d'estomacs contenant un ou plusieurs individus de la catégorie analysée. Le nombre obtenu sera exprimé en pourcentage du nombre total d'estomacs non vides.

L'indice d'occurrence ( $I_o$ ) s'exprime par la relation  $I_o = (N_a / N_t) \times 100$   $N_a$  représentant le nombre d'estomacs dans lesquels une catégorie est présente  $N_t$  le nombre total d'estomacs non vides.

L'avantage de cette méthode est de permettre une évaluation qualitative rapide des préférences alimentaires du poisson. Son désavantage réside dans son absence de renseignements concernant les proportions relatives des diverses catégories alimentaires dans le régime de l'espèce.

### 5.2. Méthode d'abondance (ou numérique) (Hyslop, 1980)

On compte le nombre de représentants de la catégorie d'aliment pour tous les estomacs non vides. Le nombre obtenu sera exprimé en pourcentage par rapport au nombre total de représentants de toutes les catégories d'aliments.

L'indice d'abondance ( $I_a$ ) s'exprime par la relation  $I_a = (N_x / N_{xt}) \times 100$   $N_x$  représentant le nombre d'individus appartenant à la catégorie d'aliments  $x$   $N_{xt}$  le nombre total d'individus des différentes catégories d'aliments  $x$ .

Cette méthode permet d'estimer le nombre d'individus consommés par le poisson mais elle ne tient pas compte de la biomasse des différentes catégories d'aliments, risquant ainsi d'exagérer l'importance prise par les individus de petite taille qui peuvent être très nombreux dans un échantillon sans pour autant représenter une fraction majoritaire de son volume.

### 5.3 Indice de sélectivité de Chesson

Des indices de sélectivité sont calculés sur base des contenus stomacaux moyens de tous les individus capturés le même jour et de la composition zooplanctonique moyenne présente dans le lac ce même jour au niveau du pacage. Il convient cependant de rappeler que cette méthode ne tient pas compte de la variabilité inter-individuelle des contenus stomacaux.

L'indice de sélectivité utilisé est celui de Chesson (1978) :  $\alpha = r_a / p_a / \sum_{i=1}^n (r_i / p_i)$   
 $n$  = nombre de types de proies dans l'échantillon  
 $r_a$  = abondance absolue de la catégorie de proie zooplanctonique **a** dans le contenu stomacal  
 $p_a$  = abondance absolue de la catégorie de proie zooplanctonique **a** dans le milieu ( $m^{-3}$ )

$r_i$  = abondance absolue des catégories de proies zooplanctoniques **a + b + c + ...n**  
dans le contenu stomacal

$p_i$  = abondance absolue des catégories de proies zooplanctoniques **a + b + c + ...n**  
dans le milieu ( $m^{-3}$ )

### III) Résultats

## 1. Evolution de la physico-chimie au niveau du pacage

Les mesures de physico-chimie ont été prises continuellement en surface à l'aide d'une sonde pendant toute la durée du pacage. Pour faciliter la description des résultats, seul un suivi hebdomadaire des valeurs sera repris ci-dessous.

### 1.1. Température et pH

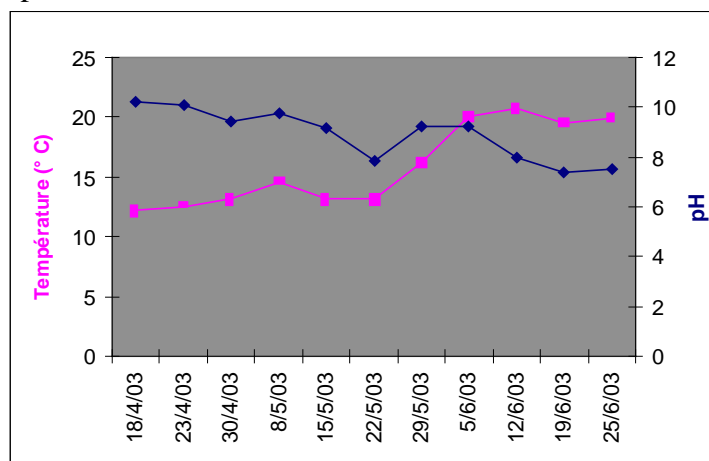


Figure 18 : Evolution de la température (° C) et du pH de l'eau entre le 18 avril et le 25 juin 2003 au niveau des cages dans le lac de Robertville.

En ce qui concerne la température, nous observons qu'elle varie entre 12,2 et 20,7°C, ce qui correspond aux dates du 18 avril et du 12 juin. La température moyenne en surface pendant la durée du pacage est de 15,9°C. La température de 22°C, considérée létale pour le *Coregonus lavaretus* (CECPI, 1994), n'a donc pas été atteinte pendant cette période.

Le pH est très élevé en début de saison puisque nos deux premières valeurs sont de 10,2 et 10,09. Celles-ci semblent toutefois diminuer au cours de la saison et se stabiliser à pH 7,5 fin juin. Le pH important lors du déversement dans le lac n'a entraîné aucune mortalité massive, on peut donc penser qu'il n'est pas trop gênant pour la survie des corégones.

### 1.2. Oxygène dissous

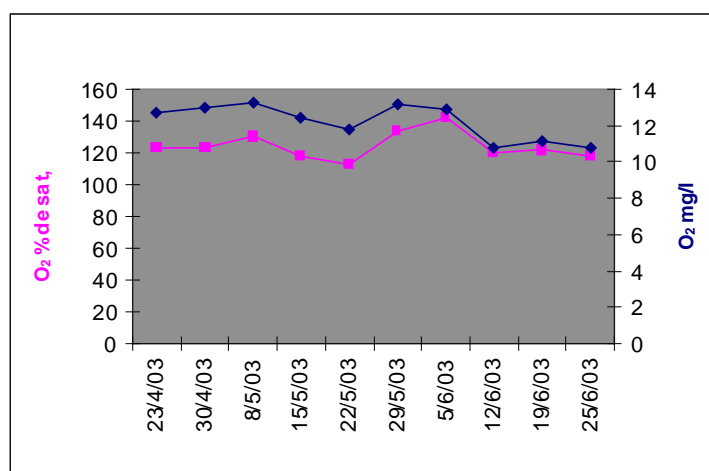


Figure 19 : Evolution de la concentration en oxygène dissous (mg/l et % de saturation) en surface de l'eau au niveau des cages entre le 23 avril et le 25 juin 2003 dans le lac de Robertville.

Aucun problème de concentration en oxygène n'est observé puisque toutes les valeurs sont supérieures à 10 mg/l.

### 1.3. Conductivité

Celle-ci est très stable durant l'ensemble de la saison. La valeur moyenne avec le K<sub>25</sub> est de 114 µS/cm.

## 2. Analyse des principaux nutriments

Les résultats qui suivent ont été obtenus à partir de l'analyse d'échantillons d'eau prélevés en surface de façon hebdomadaire.

### 2.1. Dosage des nitrites et nitrates

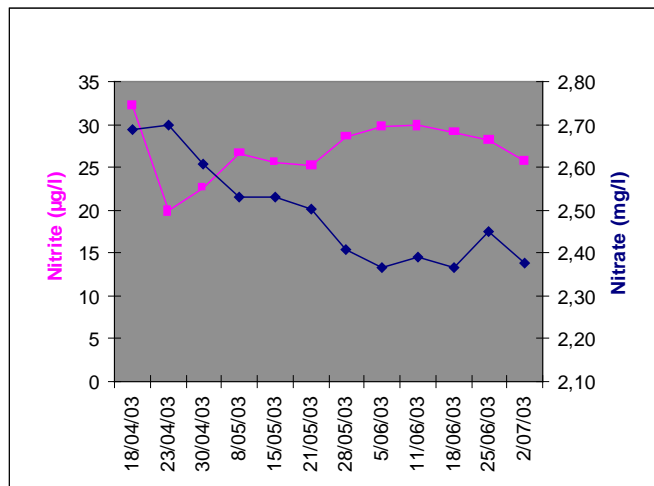


Figure 20 : Evolution de la concentration en nitrites  $\text{N-NO}_2^-$  ( $\mu\text{g/l}$ ) ainsi qu'en nitrates  $\text{N-NO}_3^-$  ( $\text{mg/l}$ ) à la surface de l'eau au niveau des cages entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 dans le lac de Robertville.

La concentration en nitrites varie entre 19,8 et 32,2  $\mu\text{g/l}$ , valeurs correspondant respectivement aux 23 et 18 avril.

En ce qui concerne les nitrates, la concentration moyenne est de 2,49  $\text{mg/l}$ . Nous pouvons toutefois remarquer que les concentrations semblent décroître. Ceci peut être mis en relation avec un apport en nitrates provenant du lessivage des sols en hiver, les valeurs se stabilisant par la suite sous l'effet de l'activité du phytoplancton. On peut aussi penser à une augmentation de l'activité des bactéries dénitrifiantes.

### 2.2. Dosage de l'ammonium

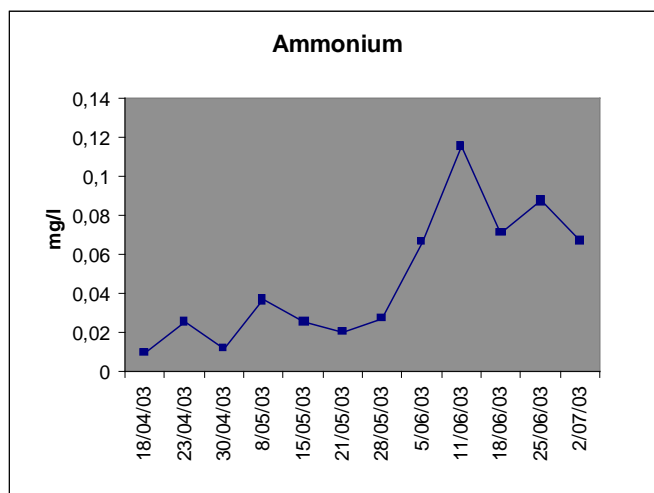


Figure 21 : Evolution de la concentration en ammonium  $\text{N-NH}_4^+$  ( $\text{mg/l}$ ) à la surface de l'eau au niveau des cages entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 dans le lac de Robertville.



Celle-ci varie entre 0,01 et 0,11 mg/l, la valeur la plus basse correspond à la première date tandis que la plus élevée est observée le 11 juin. Les valeurs semblent décroître après ce pic du 11 juin, néanmoins elles restent plus élevées que celles du début de la saison. Nous pouvons mettre en relation cette augmentation des concentrations en ammonium avec l'activité des bactéries dénitrifiantes puisque celle-ci peut être augmentée en présence de températures plus élevées.

## 2.3. Dosage du phosphore

### 2.3.1. Phosphore total

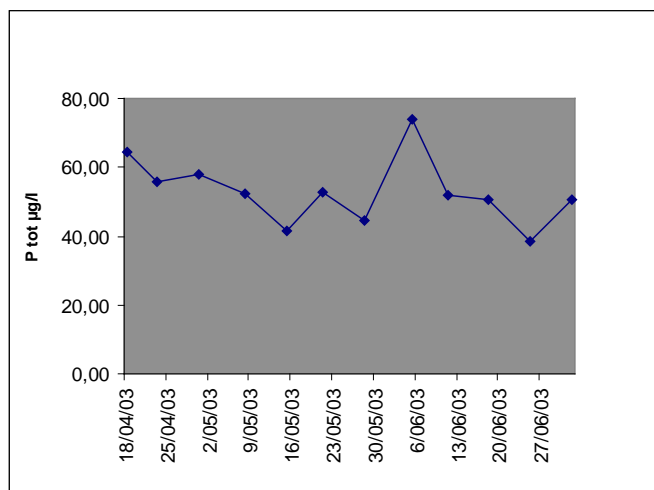


Figure 22 : Evolution de la concentration en phosphore total (µg/l) à la surface de l'eau au niveau des cages entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 dans le lac de Robertville.

La concentration moyenne en phosphore pendant la période d'observation est de 53 µg/l. Un pic est observé le 5 juin où la concentration atteint 74 µg/l. Ces valeurs sont considérées d'après l'OCDE (1982) comme correspondant à des eaux eutrophes, il est tout de même important de rappeler que les échantillons ont été pris en surface au niveau du barrage et relativement près du bord, ces deux conditions créant un site particulier.

### 2.3.2. Phosphore dissous ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Les concentrations obtenues lors de ces dosages étaient inférieures à notre limite de détection, puisqu'elles étaient en dessous de 10 µg/l. Ces valeurs ne seront donc pas présentées dans cette partie.

## 2.4. Conclusion

Les résultats de ce suivi de la concentration en nutriments dans l'eau ne présentent aucun problème particulier de qualité ni de variation anormale des nutriments.

### 3. Dosage de la chlorophylle *a*:

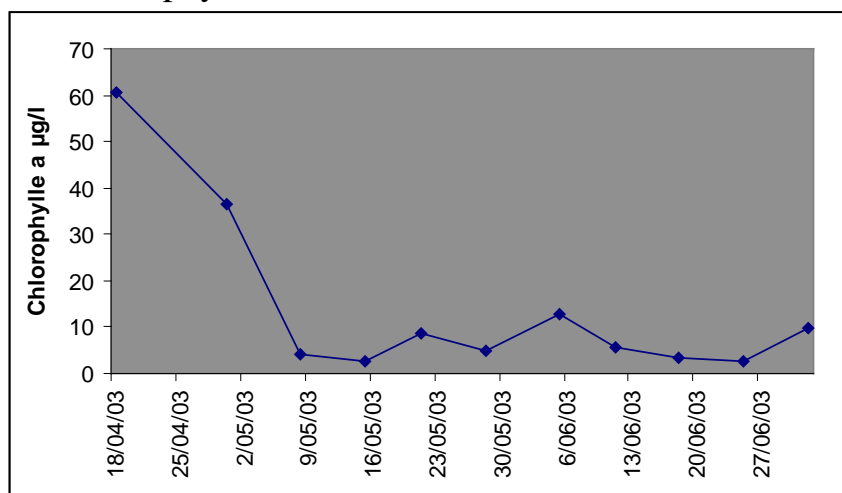


Figure 23 : Evolution de la concentration en chlorophylle *a* en surface de l'eau au niveau des cages entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 dans le lac de Robertville.

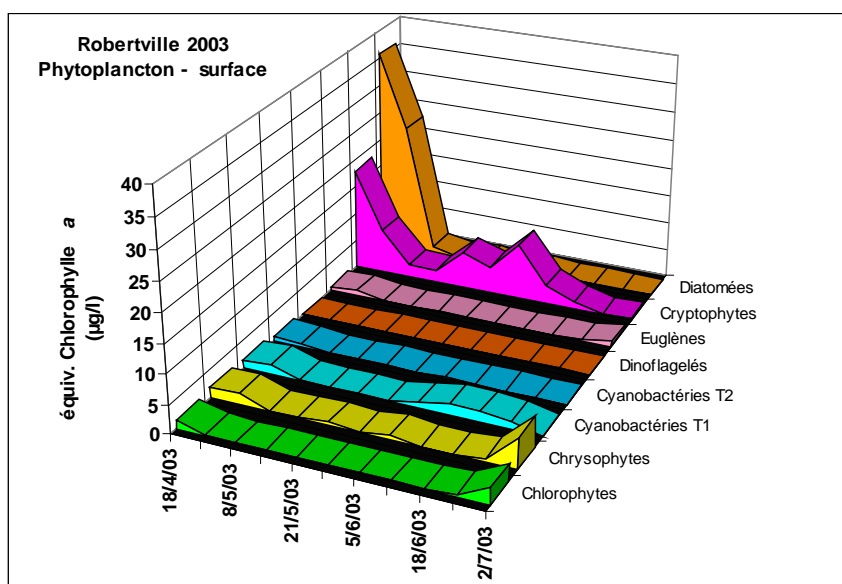


Figure 24 : Evolution de la composition et de la biomasse du phytoplancton en surface de l'eau au niveau des cages entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 au lac de Robertville.

Les résultats montrent qu'il y a un pic de chlorophylle *a* entre le 18 et le 30 avril, ce qui peut d'ailleurs expliquer le pH élevé observé à cette même période vu l'activité phytoplanctonique importante. Les valeurs observées au moment de ce pic sont classées d'après l'OCDE (1982) comme correspondant à des eaux eutrophisées. Un bloom existe donc en début de saison, principalement composé de cryptophytes et de diatomées. La phase d'eau claire apparaît peu après à la mi-mai. Le début du mois de juin est caractérisé par la présence de cryptophytes, de cyanobactéries et de chrysophytes. Les chlorophytes ainsi que les chrysophytes semblent être dominantes à partir de début juillet.

#### 4. Croissance des alevins de corégones

Les œufs de corégones provenaient de la pisciculture de Rives à Thonon-les-Bains. C'est 400.000 œufs au stade oeillé qui ont été reçus le 23 janvier à la pisciculture du Service de la Pêche de la Région Wallonne à Emptinne et ont commencé à éclore le 4 février.

Les larves ont ensuite été réparties en deux groupes. Le premier, de plus ou moins 150.000 corégones, a été conservé à Emptinne à une température moyenne de 10°C.

Le second groupe de plus ou moins 250.000 larves a été transporté à la pisciculture de Tihange Aqua Farm. Les corégones ont été rassemblés dans un bassin à une température de plus ou moins 18°C. Lors du déversement dans les cages au lac de Robertville, 4 cages ont été mises en charge avec respectivement 10.000 alevins provenant d'Emptinne pour l'une des cages et 3300 corégones provenant de Tihange dans chacune des trois autres cages.

A leur arrivée dans les cages, les poissons élevés à Emptinne pesaient 0,0371 g et mesuraient 18,8 mm de moyenne tandis que ceux de Tihange avaient un poids moyen de 0,394 g et une longueur totale de 41,4 mm. Ceci mettant bien sûr en évidence les différences de température durant l'élevage.

##### 4.1. Croissance en taille

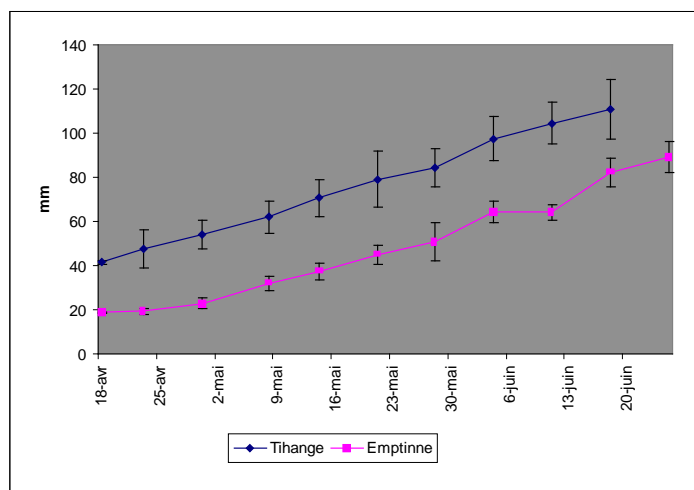


Figure 25 : Evolution de la longueur totale (mm) pour les alevins de corégones provenant d'Emptinne et de Tihange entre le 18 avril et le 25 juin 2003 au lac de Robertville.

Sur la figure 25 nous remarquons la différence de taille existant entre les deux groupes d'individus et ceci pendant toute la durée du pacage. L'explication réside dans la température plus basse qu'ont subi les individus d'Emptinne par rapport à ceux de Tihange avant leur arrivée dans le lac.

## 4.2. Croissance en poids

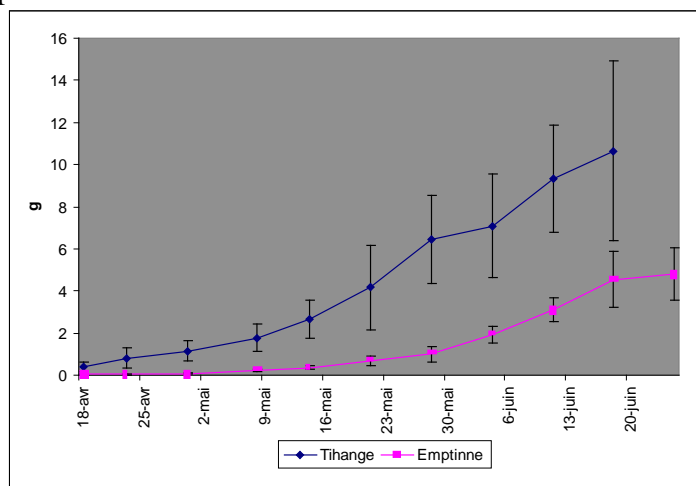


Figure 26 : Evolution du poids (g) pour les alevins de corégones provenant d'Emptinne et de Tihange entre le 18 avril et le 25 juin 2003 au lac de Robertville.

Le poids moyen des individus était respectivement de 0,016g et 0,217 pour les individus d'Emptinne et de Tihange au départ et de 4,8 et 10,6 g lors des derniers lâchers. Nous pouvons aussi remarquer sur cette figure que le phénomène d'hétérogénéité de croissance semble être plus important sur les individus de Tihange prégressis à température plus élevée et que celui-ci s'amplifie avec le temps, ce qui est tout à fait normal puisque l'hétérogénéité augmente au fur et à mesure de la croissance.

## 4.3. Taux de croissance spécifique

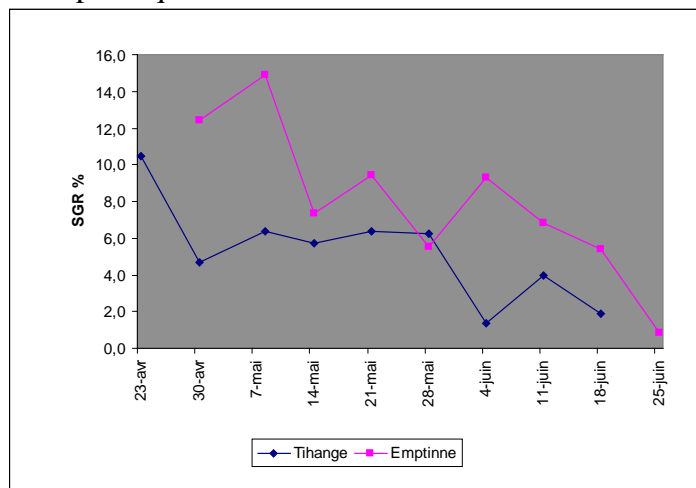


Figure 27 : Evolution du taux spécifique de croissance (Specific Growth Rate) pour les individus provenant d'Emptinne et de Tihange entre le 23 avril et le 25 juin 2003 au barrage de Robertville.

Le Specific Growth Rate (SGR) présenté ci-dessus a été calculé à partir des poids en mg. Cette figure nous montre que les individus provenant d'Emptinne conservent un taux de croissance supérieur à ceux de Tihange pendant toute la durée du suivi hormis la période entre le 21 et le 28 mai. Le SGR moyen est de 8,9 % et de 5,2 % respectivement pour les larves provenant d'Emptinne et de Tihange.

#### 4.4. Résultats des déversements dans le lac

Dates	Nbr d'individus	Provenance
15/05/03	2403	Tihange
4/06/03	1672	Tihange
18/06/03	2324	Tihange
25/06/03	2396	Emptinne
2/07/03	2296	Emptinne
Total	11091	

Tableau 7 : Nombre d'alevins de corégonos déversés entre le 15 mai et le 2 juillet 2003 dans le lac de Robertville.

Ce sont donc finalement 11.091 individus qui ont été relâchés dans le lac, dont 6.399 provenaient de Tihange et 4.692 d'Emptinne. L'estimation faite lors du déversement qui portait le nombre à près de 19.900 individus a très certainement été surestimée puisque selon le suivi des cages seul 500 individus ont été retirés morts après le déversement. Cette surestimation provient probablement du fait qu'un seul sac provenant de Tihange avait fait l'objet d'un comptage lors du déversement, puisque nous avons considéré que tous les sacs avaient été remplis de façon homogène. Ceci nous a finalement donné un résultat de 9.900 corégonos provenant de Tihange, tandis que pour les individus d'Emptinne leurs petites tailles ne permettaient pas un comptage scrupuleux des individus et c'est donc une estimation visuelle qui nous a donné le nombre de 10.000 individus.

Signalons que nous avons choisi d'utiliser cette méthode de manière à éviter un stress supplémentaire après le transport.

## 5. Evolution du zooplancton au cours de la saison

Les prélèvements de zooplancton ont été effectués en triplicatas et trois sites ont été choisis : l'un dit IN directement à l'intérieur de la cage, un NEXT à côté des cages et le dernier OUT en zone pélagique. L'échantillonnage sur ces trois sites va nous permettre de montrer l'effet de la prédation des corégones sur les populations de zooplancton.

### 5.1. Zooplancton total pour les trois sites de prélèvement

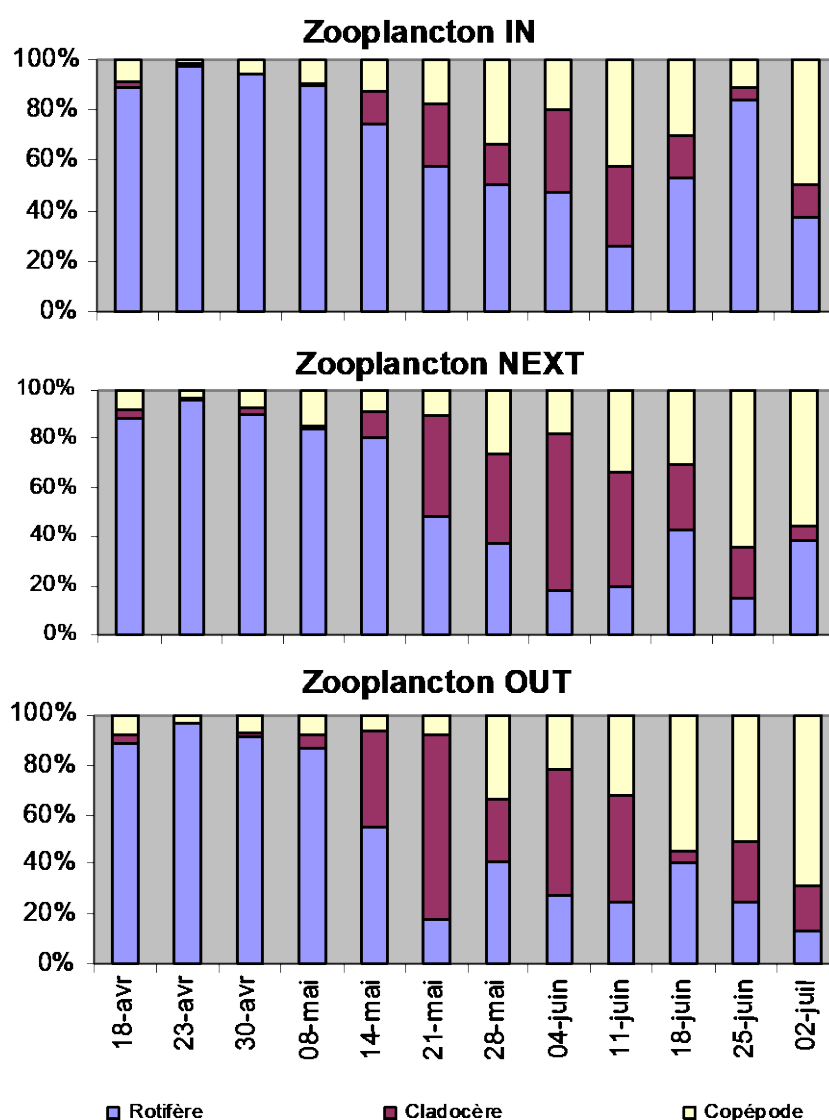


Figure 28: Evolution du zooplancton total dans le lac de Robertville entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 sur trois sites de prélèvements (IN, NEXT, OUT).

Ci-dessus n'ont donc été représentés que les prélèvements en zone pélagique, à côté des cages et dans les cages d'Emptinne. Le graphique de l'échantillonnage réalisé dans les cages où se trouvaient les individus de Tihange ne sera pas présenté car il était très proche de celui obtenu dans les cages d'Emptinne en proportion des différents groupes zooplanctoniques, néanmoins le tableau 8 présente les différences au niveau de la densité (ind/l) des différents taxa. Les graphiques représentent uniquement l'évolution des rotifères, cladocères et

copépodes ; ces figures seront détaillées par la suite en présentant les genres ou les espèces les plus importantes.

La figure 28 montre que du 18 avril au 14 mai ce sont les rotifères qui dominent en zone pélagique tandis que par la suite ce sont les copépodes et les cladocères. Ceci est dû au fait que les cladocères sont surtout présents dans les eaux à la fin du printemps et durant l'été.

Par ailleurs, nous remarquons que dans les cages la proportion de rotifères est quasiment toujours supérieure à celle des cladocères et des copépodes alors que pour l'échantillon en zone pélagique loin du pacage ce n'est pas le cas. L'échantillon NEXT semble moins marquer cette différence. Est-ce là un effet des alevins sur les populations zooplanctoniques ?

Le tableau 8 nous montre qu'il existe bien des différences entre les densités de zooplancton dans les cages contenant les individus provenant d'Emptinne et ceux de Tihange. Nos résultats montrent que les *Asplanchna* sp. sont moins abondants dans les cages contenant les individus provenant d'Emptinne à partir du 30 avril de même pour les *Keratella cochlearis* qui sont eux aussi plus abondants dans les cages contenant les individus de Tihange. Cette tendance semble s'inverser si l'on compare le nombre de bosmines ou de copépodes cyclopoïdes, qui sont de plus grandes espèces.

## 5.2. Evolution des rotifères pour les trois sites de prélèvement

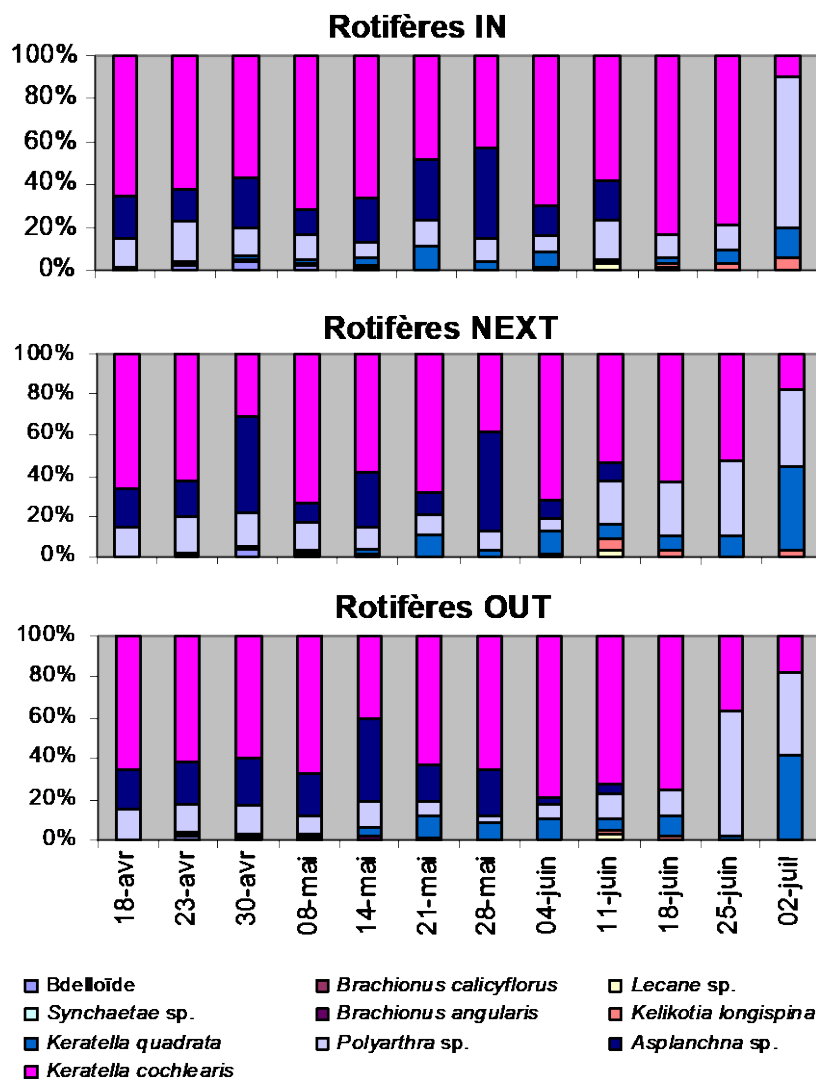


Figure 29 : Evolution des principaux taxa de rotifères dans le lac de Robertville entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 sur trois sites de prélèvements (IN, NEXT, OUT).

Nous observons peu de différence pour ces trois graphiques de la figure 29, l'espèce la plus abondante jusqu'au 18 juin est *Keratella cochlearis* et ce pour les trois sites. La suite du mois de juillet est caractérisée par une densité plus importante de *Polyarthra*.



### 5.3. Evolution des cladocères pour les trois sites de prélèvement

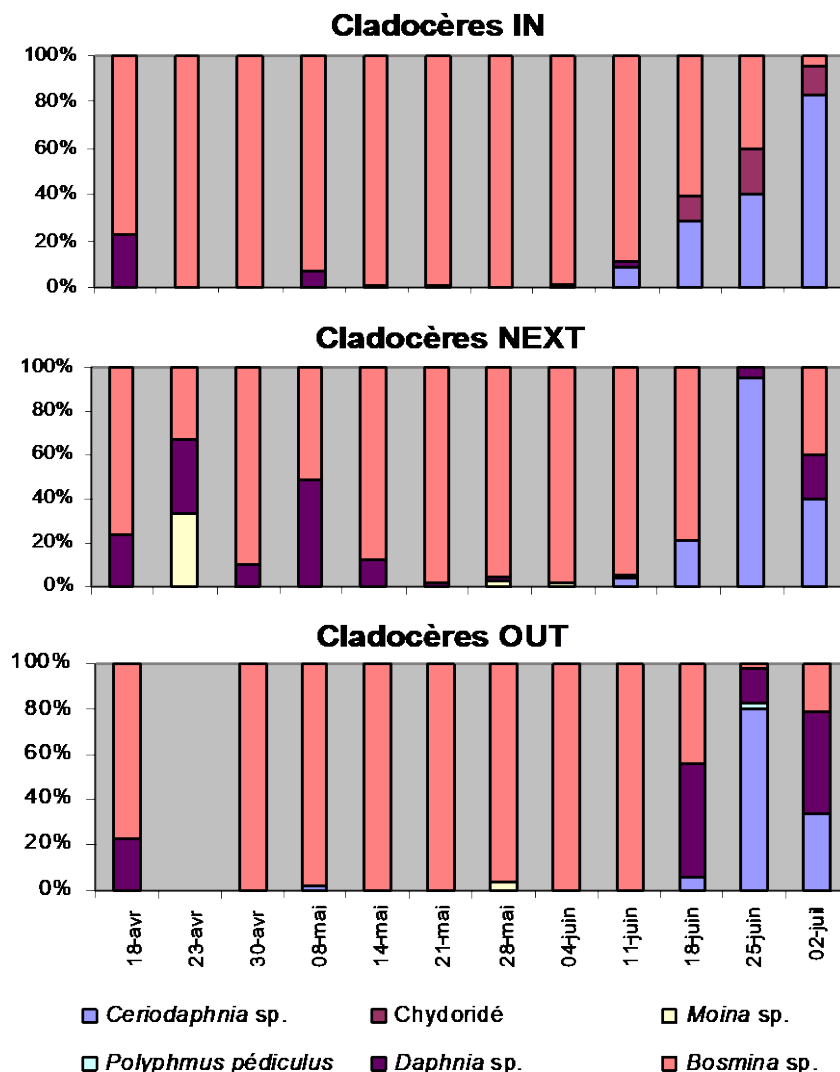


Figure 30 : Evolution des principaux taxa de cladocères dans le lac de Robertville entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 sur trois sites de prélèvements (IN, NEXT, OUT).

La figure 30 nous montre que ce sont les bosmines qui sont les plus abondantes parmi les cladocères. Néanmoins les céridaphnies font leur apparition le 11 juin et deviennent aussi très abondantes pour la fin du mois et le début de juillet. Si l'on analyse la densité des bosmines elles sont quasiment toujours plus abondantes hors des cages qu'à l'intérieur de celles-ci.

#### 5.4. Evolution des copépodes pour les trois sites de prélèvement

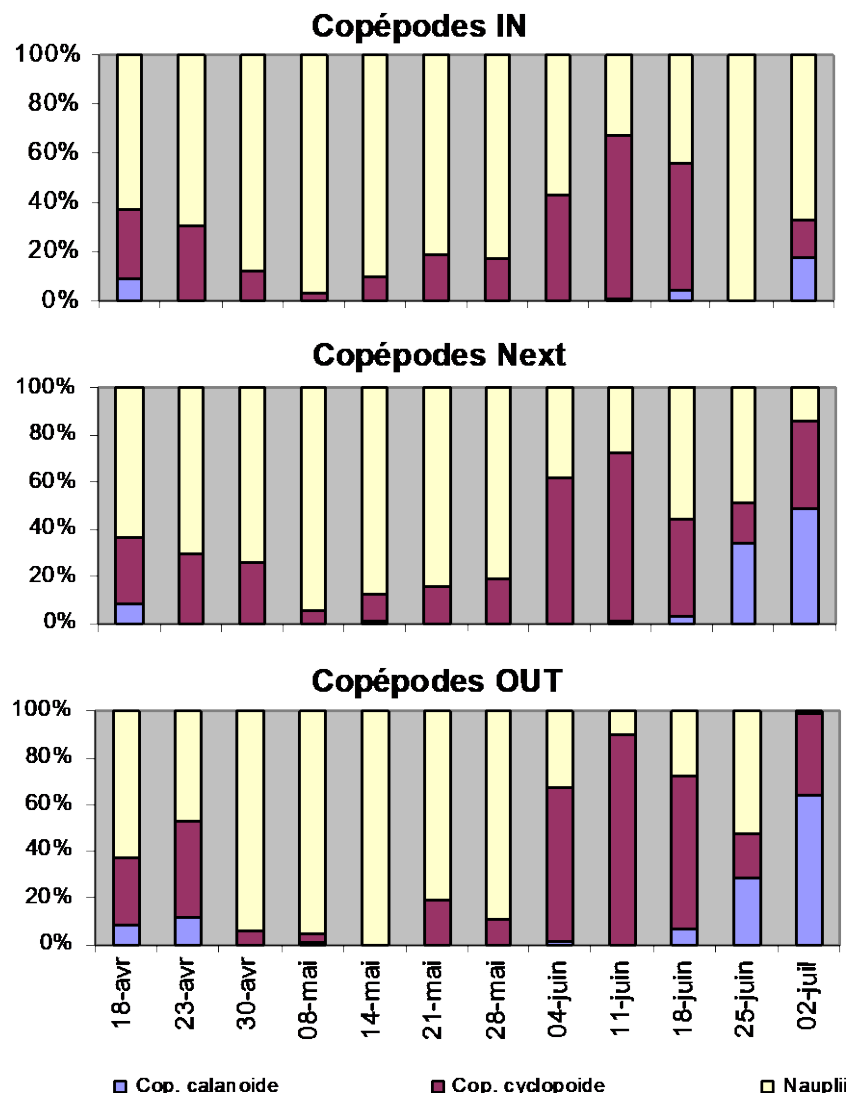


Figure 31 : Evolution des principaux taxa de copépodes dans le lac de Robertville entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 sur trois sites de prélèvements (IN, NEXT, OUT).

Les nauplii sont proportionnellement les plus abondants parmi les copépodes. Les calanoïdes apparaissent à la mi juin en quantité plus importante.

Il y a visiblement toujours moins de cyclopoïdes et de calanoïdes dans les cages qu'en zone pélagique. Ceci met peut être en évidence une certaine prédation sur ces organismes.

## 6. Calcul des indices

Cette partie sera donc consacrée au calcul de différents indices que sont les indices d'occurrence, d'abondance et de sélectivité. L'indice d'occurrence nous donne une indication sur le nombre de fois qu'un taxa est représenté dans les estomacs analysés. L'indice d'abondance montre la quantité de taxa présents par estomac. L'indice de sélectivité est une mesure de la sélection de tel ou tel taxa, celle-ci tient compte de l'abondance du taxa par estomac et de son abondance dans l'eau du lac.

Enfin le point 6 nous présentera également une comparaison des résultats de ces indices pour les alevins de corégones et ceux de gardons pêchés le 25 juin dans le lac de Robertville. Ceci de manière observer si une éventuelle compétition existe entre ces deux espèces.

### 6.1. Indice d'occurrence

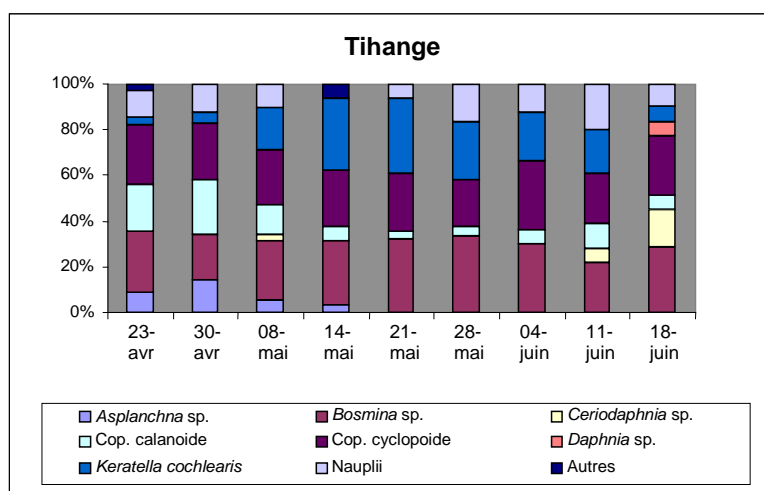


Figure 32 : Evolution de l'indice d'occurrence dans les estomacs de corégones en provenance de Tihange entre le 23 avril et le 18 juin 2003 (Les taxa présents dans 40 % et moins des estomacs sont regroupés sous la dénomination "Autres").

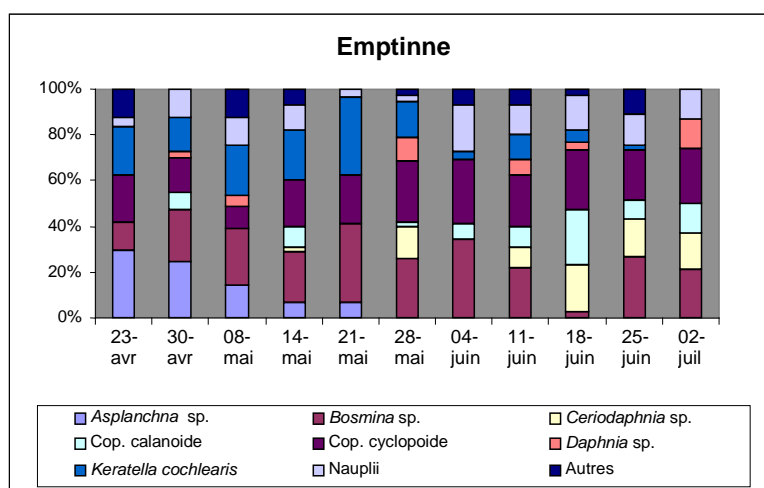


Figure 33 : Evolution de l'indice d'occurrence dans l'estomac des corégones en provenance d'Emptinne entre le 23 avril et le 18 juin 2003 (Les taxa présents dans 40 % et moins des estomacs sont regroupés sous la dénomination "Autres").

Nous observons pour les deux groupes que l'occurrence des cladocères augmente au fur et à mesure de la saison avec l'augmentation des bosmines et l'apparition des ceriodaphnies

dès le 8 mai. La présence des copépodes semble également assez importante avec une prédominance de cyclopoides.

Si nous comparons les deux groupes, nous pouvons observer que les individus provenant d'Emptinne ont une tendance plus marquée à se nourrir de rotifères. L'exemple le plus flagrant est la différence d'occurrence des rotifères *Asplanchna* chez les deux groupes.

La taille de ces proies explique probablement leur plus grande occurrence chez les plus petits individus. En effet les rotifères sont plus petits que la majorité des cladocères ou copépodes et sont donc des proies plus facilement capturables. Les individus provenant de Tihange semblent moins dépendants de la taille de leurs proies puisqu'ils étaient plus grands dès leur arrivée dans le lac.

Une autre observation importante est que l'occurrence moyenne maximale est attribuée aux bosmines pour les deux groupes, ce qui démontre l'importance de ce genre dans le régime alimentaire du *Coregonus lavaretus*.

## 6.2. Indice d'abondance

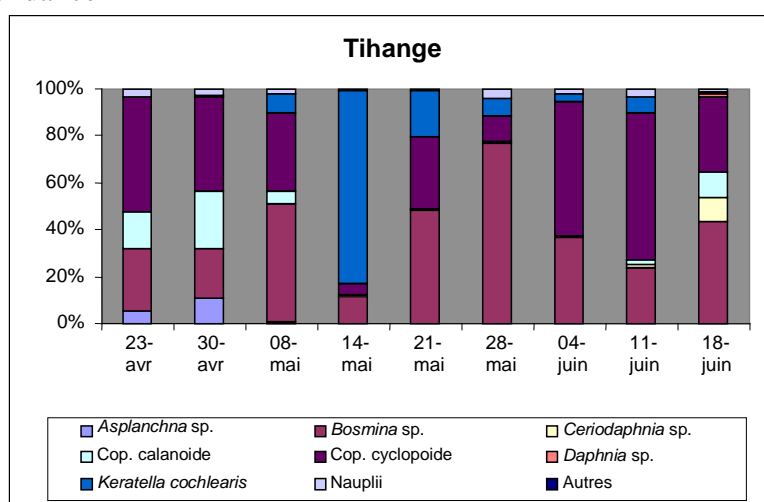


Figure 34 : Evolution de l'indice d'abondance dans les estomacs des corégones en provenance de Tihange entre le 23 avril et le 18 juin 2003 (Les taxa sont les mêmes que pour l'occurrence).

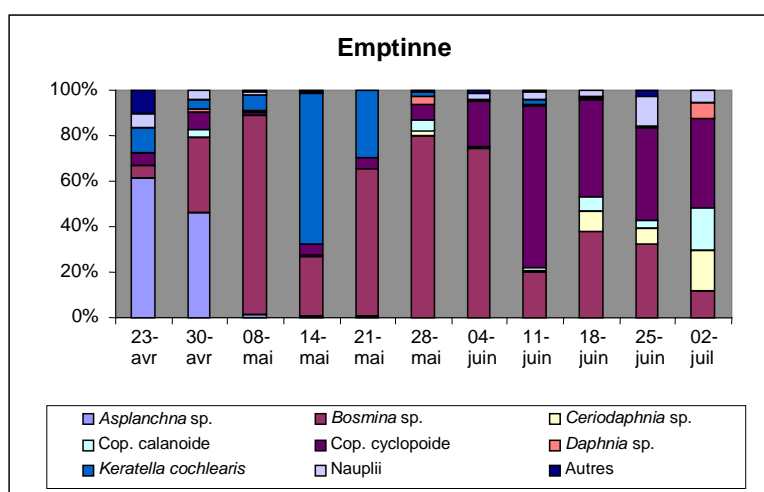


Figure 35 : Evolution de l'indice d'abondance dans les estomacs des corégones en provenance d'Emptinne entre le 23 avril et le 2 juillet 2003 (Les taxa sont les mêmes que pour l'occurrence).

Les figures 34 et 35 nous montrent l'importance des bosmines, celles-ci n'apparaissent de façon importante qu'à partir du mois de mai. De la même manière que pour l'occurrence, cet indice nous présente une abondance accrue des *Asplanchna* chez les individus d'Emptinne en avril.

Les copépodes sont eux aussi assez abondants dans les estomacs analysés mais apparaissent plus tard chez les corégones d'Emptinne. Probablement pour la même raison que celle citée ci-dessus, c'est à dire la taille des proies.

Le 14 mai l'espèce la plus abondante était *Keratella cochlearis*, ce qui s'explique par la présence importante de cette espèce dans le lac à cette date, sa densité était alors de 477 ind/l.

### 6.3. Calcul des indices d'occurrence et d'abondance pour le gardon

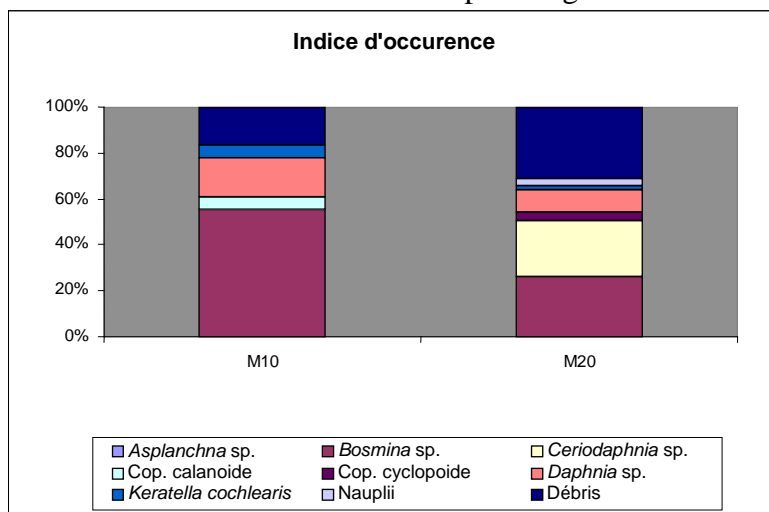


Figure 36 : Indice d'occurrence de 38 gardons prélevés le 25 juin à l'aide de filets de mailles de 10 et de 20 mm qui pesaient et mesuraient respectivement en moyenne 7,2 g pour 91 mm et 40 g pour 116 mm.

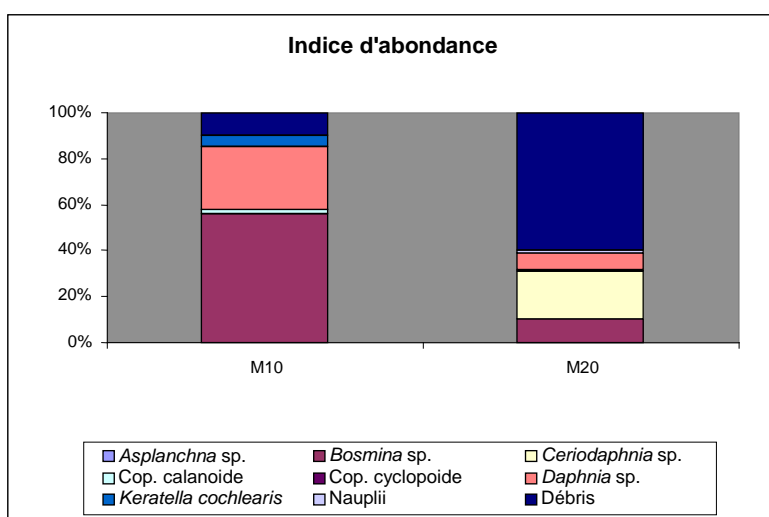


Figure 37 : Indice d'abondance de 38 gardons prélevés le 25 juin à l'aide de filets de mailles de 10 et de 20 mm qui pesaient et mesuraient respectivement en moyenne 7,2 g pour 91 mm et 40 g pour 116 mm.

Le calcul de ces deux indices pour les gardons nous montre qu'en ce qui concerne l'occurrence et l'abondance du zooplancton présent, trois genres semblent être majoritaires. Ceux-ci sont les bosmines, les ceriodaphnies et les daphnies. En ce qui concerne les débris

une simple évaluation visuelle a été effectuée au moment de la dissection des estomacs de gardons. Vu l'importance de cette nourriture chez cette espèce, elle a été intégrée au graphique.

Néanmoins nous remarquons via l'indice d'abondance que les débris sont très importants dans l'alimentation du gardon. Il semble bien que cette espèce ne soit pas zooplanctonophage comme le corégone mais plutôt omnivore.

#### 6.4. Comparaison du nombre d'individus zooplanctoniques présent par estomac chez le corégone et le gardon

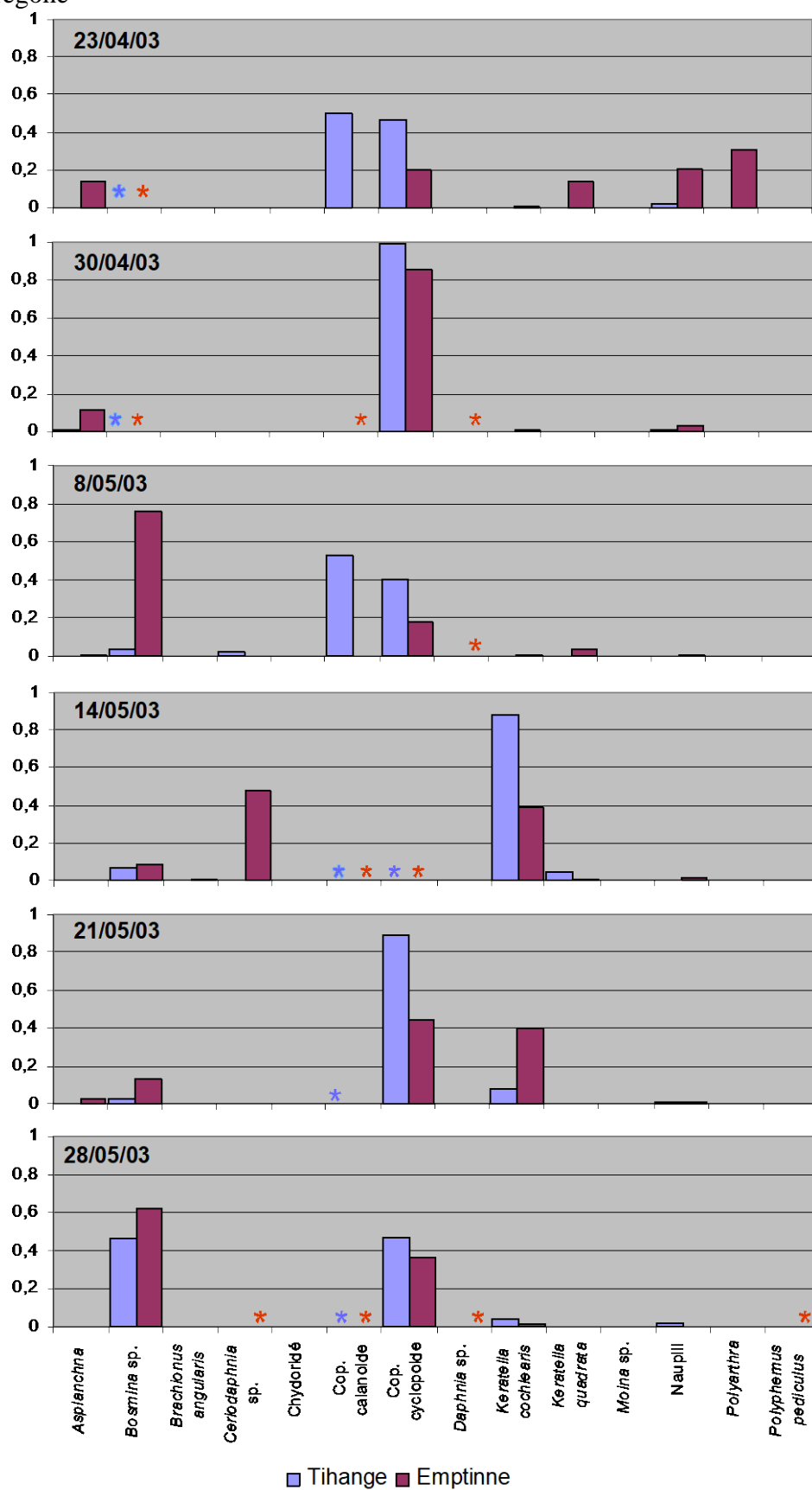
25-juin	Corégone (N=10)	Gardon (N=38)
<i>Asplanchna</i> sp.	0,0	0,0
<i>Bosmina</i> sp.	37,0	22,0
<i>Brachionus angulavris</i>	0,0	0,0
<i>Ceriodaphnia</i> Sp.	7,4	30,3
Chydoridé	3,1	0,0
Cop. calanoïde	4,0	0,3
Cop. cyclopoïde	46,4	0,8
<i>Daphnia</i> sp.	0,0	13,4
<i>Keratella cochlearis</i>	0,5	0,8
<i>Keratella quadrata</i>	0,0	0,0
<i>Moina</i> sp.	15,0	0,0
Nauplii	15,0	1,3
<i>Polyarthra</i> sp.	0,0	0,0
<i>Polypheumus pediculus</i>	0,0	0,0

Tableau 9 : Comparaison du nombre d'individus zooplanctoniques présents dans l'estomac de corégonos et de gardons prélevés le 25 juin sur le lac de Robertville. Cette moyenne a été réalisée sur les gardons capturés à l'aide de filets de mailles de 10 et de 20 mm. Ils pesaient et mesuraient respectivement 7,2 g pour 91 mm et 40 g pour 116 mm et les corégonos 4,8 g pour 89 mm.

Le tableau 9 nous permet de montrer que les gardons ne sont pas des zooplanctonophages stricts puisque le nombre total moyen d'individus zooplanctoniques présents est moins important dans les estomacs de gardons puisque le nombre total moyen d'individus est de 68,9 pour les gardons et 128,4 pour les corégonos. Le nombre de taxa présents chez les corégonos s'élève à huit et sept pour les gardons.

## 6.4. Calcul des indices de sélectivité

### 6.4.1. Corégone



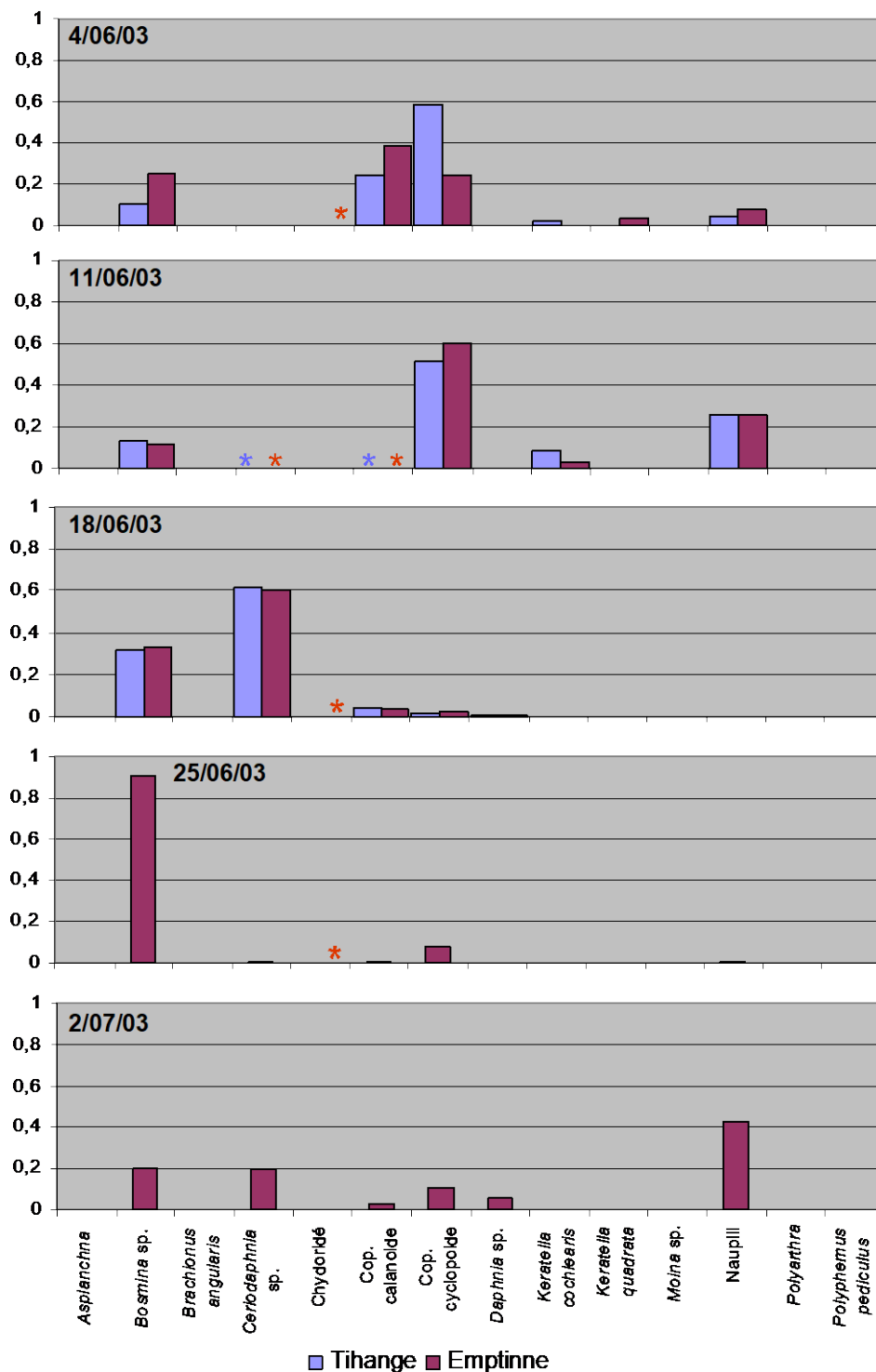


Figure 38 : Evolution de la sélectivité des deux groupes de corégones étudiés entre le 23 avril et le 2 juillet 2003 (\* sélectivité très importante puisque l'espèce n'est pas présente dans le prélèvement d'eau mais bien dans le contenu stomacal).

Sur la figure 38 on peut suivre l'évolution de la sélectivité des corégones pendant toute la durée du pacage. Cet indice varie entre 0 et 1, ce qui correspond respectivement à une non sélection et à une sélection totale. L'indice de sélectivité confirme les hypothèses énoncées plus haut c'est à dire que pour la première date les individus d'Emptinne sélectionnent préférentiellement des rotifères tandis que ceux de Tihange se nourrissent de copépodes. Le



30 avril les deux groupes sélectionnent fortement les copépodes cyclopoïdes, néanmoins la présence de rotifères est conservée pour le groupe d'Emptinne.

Les cladocères subissent eux aussi une sélection de la part des alevins, en effet les bosmines sont observées dans l'analyse des estomacs dès les premières dates alors que ce genre n'est pas représenté dans les échantillons pris dans l'eau. Les bosmines sont présentes tout au long de la saison dans l'alimentation des corégones mais leur sélection sera variable en fonction du nombre d'individus présents dans les échantillons de zooplancton prélevés dans le lac. D'autres cladocères tels que les ceriodaphnies et les daphnies font aussi l'objet de sélection dès que ces deux genres font leur apparition dans le lac.

#### 6.4.2 Gardon

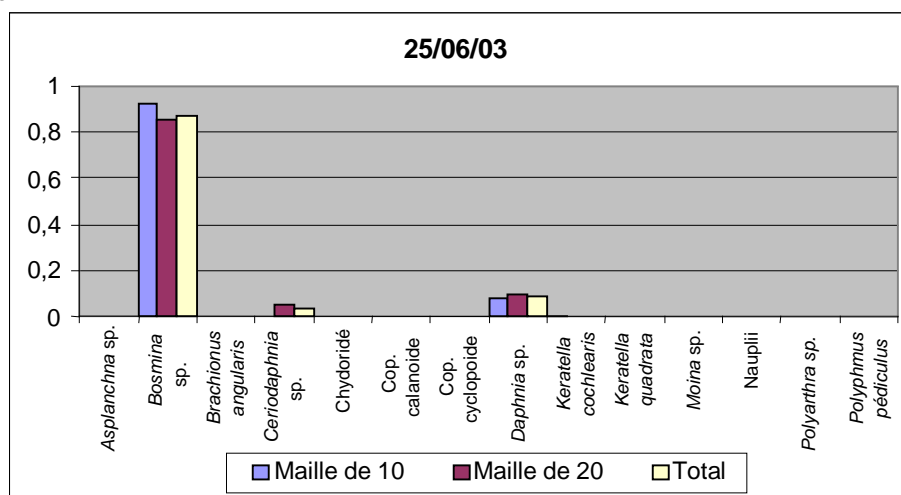


Figure 39 : Sélectivité des gardons pêchés le 25 juin 2003 à l'aide de filets de mailles de 10 et de 20 qui pesaient et mesuraient respectivement 7,2 g pour 91 mm (moyenne pour 18 ind.) et 40 g pour 116 mm (moyenne pour 20 ind.).

Selon la figure 39, les gardons exercent une sélectivité sur les cladocères et plus particulièrement sur les bosmines. Encore une fois, cet indice de sélectivité n'est calculé que sur le zooplancton puisque la sélectivité est un indice qui met en relation le nombre d'individus zooplanctoniques par estomac avec celui présent dans l'eau. La sélectivité des gardons sur les débris n'a pu être évaluée dans ce travail.

## IV) Discussion

## 1. Physico-chimie et dosage des nutriments

Dans la partie résultats nous analysons les paramètres physico-chimiques que sont la température, l'oxygène dissous, le pH ainsi que la conductivité. Nous avons aussi réalisé une série de dosages des principaux nutriments et de la chlorophylle *a* de manière à évaluer le niveau trophique du lac de Robertville. Toutes ces mesures ont été réalisées sur des prélèvements d'eau de surface.

Au niveau de la physico-chimie les valeurs d'oxygène dissous restent bien supérieures à la limite de 4 mg/l considérée comme dangereuse pour la survie des corégones dans le document du CECPI (1994) en effet nos concentrations restent supérieures à 10 mg/l.

La température considérée comme létale est de 22°C (CECPI, 1994). D'après Vostradovsky (1986) elle ne devrait pas dépasser les 25°C. Les valeurs de température que nous avons mesurées pendant le suivi sont comprises entre 12°C en avril et 20°C fin juin.

Des valeurs importantes de pH sont observées au début de l'élevage puisque les deux dernières semaines d'avril le pH était de 10. Toutefois cela ne semble pas être problématique pour l'élevage des corégones puisque aucune mortalité importante n'est observée à ce moment. Vostradovsky (1986) définit la qualité des eaux dans les lacs artificiels compatible avec le maintien de populations de corégones en Tchécoslovaquie. En ce qui concerne le pH il ne devrait pas descendre sous la valeur de 5,5. Raitaniemi *et al.* (1999) confirme que les pH acides peuvent engendrer un ralentissement de la croissance. Le *Coregonus peled* et ses hybrides sont très résistants et peuvent vivre sans aucun problème dans une gamme de pH allant de 5,8 à 8,0. Il semble que cette gamme de pH soit sous-estimée puisque nos valeurs n'ont engendré aucune mortalité. Il faut toutefois noter que le pH revient à des valeurs proches de 7 à la fin du mois de mai.

Les températures n'ont pas dépassé les 20°C durant l'élevage en cage ce qui ne pose donc aucun problème puisqu'une fois que les alevins ont été relâchés ils peuvent rejoindre des couches plus profondes et donc plus fraîches du lac. Il faut toutefois noter que ces couches profondes connaissent des conditions anoxiques en juillet, août (Tigny, 2000). Ces conditions particulières de température et d'oxygène dissous durant la période estivale peuvent donc être problématiques. Pour les pH élevés, ils ne sont pas un élément limitant pour l'élevage en cage de corégones puisque dès le mois de mai les valeurs regagnent des pH proches de 7.

Pour le dosage des nutriments nous n'observons aucun problème particulier de qualité d'eau. Le suivi de la biomasse du phytoplancton nous montre qu'un pic de biomasse est apparu durant les deux dernières semaines du mois d'avril. Nous avons observé une concentration en chlorophylle *a* de 61 µg/l le 18 avril. Ce pic était principalement composé de diatomées, ce qui pourrait expliquer les pH importants observés. En effet l'utilisation du CO<sub>2</sub> et du HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> pour la photosynthèse entraîne une augmentation du pH tandis que durant la nuit la respiration de cette biomasse végétale diminue le pH.

En ce qui concerne l'évaluation du niveau trophique nous nous sommes basés sur la concentration moyenne en phosphore total (53 µg/l), en chlorophylle *a* (13 µg/l) et le pic de chlorophylle *a* (61 µg/l). Les valeurs de la concentration en phosphore total et de chlorophylle *a* sont considérées comme correspondant à des eaux eutrophes selon l'OCDE (1982). Il faut néanmoins noter que les valeurs moyennes ne sont pas calculées sur l'année entière mais uniquement sur la durée du pacage du 18 avril au 2 juillet.

Mamcarz et Murawska (1988) rapportent que les petits lacs eutrophes sont ceux qui conviennent le mieux à la production de corégones. En effet plus productifs ils contiennent plus de ressources alimentaires nécessaires aux corégones. Marciack (1979) confirme cette possibilité, le processus d'eutrophisation augmentant le rôle du zooplancton dans le réseau trophique des lacs.

D'après Bninska (2000) la concentration en phosphore total jouerait un rôle prépondérant dans la production de corégones, les niveaux les plus importants en phosphore total augmentant la production. Ces auteurs considèrent les populations de corégones comme économiquement intéressantes pour la pêche. Ils sont donc à la recherche d'une production maximale pour leur exploitation.

Leopold *et al.* (1986, in Bninska, 2000) nous expliquent néanmoins que le processus d'eutrophisation aurait entraîné la disparition des corégones en Pologne sans les repeuplements artificiels. En effet le document du CECPI (1994) montre que le maintien de populations nécessite des eaux oligotrophes voir mésotrophes. Les eaux de ces lacs sont fraîches ( $< 22^{\circ}\text{C}$ ) et bien oxygénées ( $> 4 \text{ mg/l}$ ). Le maintien des populations en lacs eutrophes nécessite des repeuplements. Le processus d'eutrophisation est considéré par tous comme néfaste pour les populations de corégones. Pour ce qui est du lac de Robertville de bons résultats de croissance sont observés la qualité de l'eau n'est donc pas encore un élément défavorable à celle-ci.

## 2. Comparaison de l'évolution de la taille, du poids et de la croissance des corégones

Après avoir réalisé le suivi des alevins de corégones entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 nous avons obtenu les résultats d'évolution en taille et en poids présentés respectivement aux figures 25 et 26. Celles-ci nous montrent que les individus prégrossis à Tihange, c'est à dire à la température la plus élevée ( $18^{\circ}\text{C}$ ), ont été déversés dans les cages avec une taille et un poids moyen (41,4 mm et 0,394 g) plus importants que ceux prégrossis à Emptinne (18,8 mm et 0,0371 g). Cette différence de taille et de poids sera d'ailleurs conservée tout au long de cet élevage en cage.

Ces résultats confirment donc ceux obtenus par Dostani *et al.* (1999) et Rösch (1995). Dostani *et al.* (1999) montrent que des individus élevés en bassin pendant 22 jours à une température de  $18^{\circ}\text{C}$  mesuraient 17,4 mm tandis que ceux élevés à une température de  $14^{\circ}\text{C}$  mesuraient 15,7 mm.

Si nous comparons ces résultats avec ceux de l'an passé (Micha *et al.*, 2002) le déversement dans les cages avait été réalisé le 24 avril 2002 et lors du lâché du 26 juin 2002 les individus (tous en provenance d'Emptinne) mesuraient en moyenne 82 mm pour 4,1g. Pour l'année 2003 les alevins d'Emptinne du 25 juin 2003 mesuraient et pesaient respectivement 89 mm et 4,8g. Ces résultats sont proches puisque les individus ont été déversés dans les cages une semaine plus tôt en 2003. La croissance plus importante des individus de 2003 doit être due aux différences de mise en charge puisque en 2002 ce sont 90.000 larves qui ont été réparties dans les différentes cages. Nous ne disposons malheureusement pas des mises en charges exactes de ce suivi (2002). Un autre facteur est la température qui était plus faible en 2002 puisqu'elle varie entre  $12,2$  et  $20,7^{\circ}\text{C}$  ce qui correspond aux dates du 18 avril et du 12 juin. Aux mêmes dates en 2002 on observait des températures de  $8,4$  et  $16,6^{\circ}\text{C}$ .

Le Specific Growth Rate (SGR) des alevins provenant d'Emptinne est resté supérieur à celui des alevins provenant de Tihange puisque nous observons des valeurs moyennes de 8,9 %/J et 5,2 %/J. Si le SGR des individus venant d'Emptinne est plus grand c'est sans doute parce que les larves de poissons ont une croissance exponentielle au début de leur vie. Ceci est moins important pour les larves venant de Tihange parce qu'elles sont déjà beaucoup plus grandes et donc que leur croissance exponentielle est déjà ralentie. Les corégones pré-élevés à une température de  $18^{\circ}\text{C}$  conservent toutefois une taille et un poids plus important. Ceci est sans doute du au fait que les individus provenant de Tihange ont été déversés dans les cages

alors que leur taille était supérieure à celle des individus d'Emptinne. Ils pouvaient donc se nourrir de proies plus grandes que ces derniers.

Cette hypothèse proposée par Dostani *et al.* (1999) est d'ailleurs confirmée par les résultats d'abondance et d'occurrence que nous avons obtenus par analyse des contenus stomacaux des alevins provenant d'Emptinne. En effet pendant les premières semaines de l'élevage au lac de Robertville, de plus petites proies comme les rotifères étaient plus abondantes chez ces individus que chez ceux provenant de Tihange. Le pré-grossissement à une température plus élevée est donc bien un atout pour l'élevage en cage qui suit.

En ce qui concerne la mortalité seule une évaluation qualitative a été réalisée. Durant l'élevage en cage ce sont plus ou moins 500 alevins qui sont morts peu après le déversement, mais pendant le reste de l'élevage aucune mortalité massive ne fut observée.

Si nous obtenons une bonne survie c'est probablement parce que notre mise en charge de départ était faible : 3300 individus par cage de 9 mètres cube pour les trois cages contenant les alevins provenant de Tihange et 10.000 alevins pour la cage contenant les corégones prégrossis à Emptinne. Il faut noter que ces valeurs ont été surestimées lors du déversement dans les cages, en effet 6.400 corégones provenant de Tihange et 4.690 provenant d'Emptinne ont été lâchés et seul 500 individus de Tihange sont morts durant le pacage. Selon Champigneulle *et al.* (1986) une densité optimale permet une meilleure croissance et aussi une meilleure survie. Il testa d'ailleurs différentes mises en charge entre 25.000 et 100.000 individus par cage, ce qui correspond à des densités de 4.300 et 17.200 alevins par mètre cube. Les résultats de survie qu'il a obtenus lui ont montré que plus la densité était importante et plus le taux de survie était faible.

Il faut toutefois noter que durant le pré-grossissement en bassin la mortalité a été importante. A Emptinne 150.000 individus ont été pré-élevés et seul 4.690 individus ont été déversés dans les cages (survie de 3,1 %). A Tihange 250.000 larves ont été reçues au départ et 6.900 de celles-ci ont été déversées dans les cages (survie de 2,7 %). Nous obtenons donc des résultats de mortalité très importants puisque Champigneulle *et al.* (1986) nous rapportent qu'en bassin avec des mises en charge de 30 individus par litre la survie est de 20 %. Ce qui est loin d'être le cas à Emptinne comme à Tihange. Il est donc indispensable de revoir la technique de pré-grossissement en bassin car de tels taux de survie sont trop insuffisants par rapport à ce que l'on rencontre dans la littérature.

### 3. Analyse du régime alimentaire des alevins de *Coregonus lavaretus*

Les résultats de l'analyse des contenus stomacaux nous ont permis de suivre l'évolution du régime alimentaire des deux groupes d'alevins (Emptinne, Tihange) et de calculer les différents indices qui nous ont permis de faire ressortir les préférences alimentaires du *Coregonus lavaretus*.

L'occurrence et l'abondance nous montrent que durant les deux premières semaines les individus d'Emptinne sont plutôt tournés vers une alimentation composée de rotifères principalement du genre *Asplanchna* qui représente 60 et 46 % de l'abondance par estomac pour le 23 et 30 avril. Les cladocères du genre *Bosmina* sont moins abondants, 5,5 et 32,8 % pour les mêmes dates. Durant la suite de l'élevage en cage ces alevins se sont nourris principalement de bosmines et de copépodes cyclopoides.

Pour les alevins provenant de Tihange les bosmines et les copépodes cyclopoides représentent 37,6 et 35,7 % de l'abondance moyenne par estomac de corégones analysés. Ces

individus ne sont donc pas limités par la taille de leurs proies et ce même durant les premières semaines. D'après Luczinsky (1986) et Hartmann (1986) les larves de lavarets en milieu naturel se nourriraient d'abord de petits copépodites et de nauplii.

Ces résultats semblent confirmer une certaine différence dans le régime alimentaire de ces deux groupes d'alevins de corégones. Ceci peut être confirmé par le même type de résultats qu'obtint Mamcarz (1995) en observant que les individus de plus petite taille se nourrissaient de rotifères. Naesje *et al.* (1986) rapportent que les premières proies de larves de lavarets sont de taille inférieure à 0,6 mm.

On observe dans la littérature les mêmes résultats pour le *Coregonus peled*. Plusieurs auteurs nous montrent que les premières proies des larves sont des rotifères adultes et des petits cladocères (Luczynski, 1986). De même pour le *Coregonus albula* qui a été étudié par Sutela et Huusko (1997) en Finlande. Ils observent que les rotifères sont prépondérants en biomasse puis suivent les cladocères et les copépodes.

Au niveau des indices de sélectivité des résultats semblables ont été observés, c'est à dire une forte sélectivité sur les copépodes cyclopoides et bosmines avec des valeurs de sélectivité moyenne de 0,54 et 0,16. Pour les individus d'Emptinne une sélectivité accrue pour les rotifères est remarquée durant les deux premières semaines.

D'un point de vue plus général, nous pouvons dire que le régime zooplanctonophage du *Coregonus lavaretus* est surtout composé au départ de rotifères qui disparaissent par la suite et ce sont les bosmines et les copépodes qui sont les plus abondants. Ceci semble être confirmé dans la littérature puisque Vostradovsky (1986) montre que l'alimentation du lavaret est principalement composée de cladocères et de copépodes. Lindström (1962) observe que la disparition des rotifères se fait au fur et à mesure de la croissance.

Si l'on compare nos résultats avec ceux obtenus lors du suivi de 2002, nous remarquons que les taxa les plus importants sont les bosmines, les daphnies et les copépodes cyclopoides. En ce qui concerne la sélectivité elle s'orientait principalement vers les bosmines en début de saison et se dirigeait ensuite vers les daphnies en été (Micha *et al.*, 2002).

Nous observons donc des résultats semblables hormis pour les daphnies qui n'ont jamais été très abondantes dans les estomacs analysés en 2003.

En réalité la densité des daphnies n'a jamais été importante dans l'eau du lac durant le suivi 2003, ceci explique donc le fait que nous ne l'ayons pas observée durant l'analyse des contenus stomacaux.

Pour ce qui est de l'effet de la sélectivité des alevins de corégones sur le zooplancton, nous observons que la proportion de rotifères est toujours plus importante dans les cages que hors de celles-ci. En réalité ceci est dû au fait que la densité de cladocères dans les cages est toujours inférieure à celle observée en zone pélagique. Ce sont plus précisément les bosmines qui sont en densité beaucoup moins abondante dans les cages. Cette diminution de densité de zooplancton est également observée par Marciack (1979). Ses résultats montrent que l'abondance zooplanctonique est divisée par deux ou trois par rapport aux eaux environnantes.

#### 4. Comparaison du régime alimentaire du gardon et du corégone lavaret

Les résultats décrits plus haut ont donc été collectés par l'analyse d'estomacs de gardons pêchés le 25 juin dans le lac de Robertville. Nous avons uniquement comparé le régime alimentaire de ces gardons avec celui de corégones prélevés à la même date.

Plusieurs arguments tendent à montrer que les régimes alimentaires de ces deux espèces sont assez dissemblables. Le premier de ceux-ci est le fait que les indices d'occurrence et d'abondance font apparaître une nouvelle catégorie que sont les débris, qui semblent très importants dans l'alimentation de cette espèce. En effet leur abondance varie entre 10 et 60 % respectivement pour les individus capturés dans les mailles de 10 et de 20 mm. Les individus capturés dans la maille de 10 mm ayant un remplissage en débris de leur estomac de 10 % tandis que ceux de la maille de 20 mm de 60 %.

D'autre part les résultats nous montrent que la densité d'individus zooplanctoniques est en moyenne beaucoup moins abondante dans les estomacs de gardons (68,9 ind./estomac) que dans ceux de corégones (128,4 ind./estomac). De la même façon le nombre de taxa présent dans les estomacs de gardons (N= 6) est inférieur à celui des estomacs de corégones (N= 7).

Quand on observe les indices de sélectivité des gardons, il semble qu'ils sélectionnent principalement des cladocères, plus précisément des bosmines avec une sélection de 0,8 et des daphnies avec une valeur de 0,09. Néanmoins, comme cela a été précisé dans les résultats, la sélectivité sur les débris macrophytiques et autres n'a pu être évaluée. On ne peut donc conclure à une sélectivité sur ce type d'aliment.

Hammer (1985) rapporte que les gardons à leur premier stade se nourrissent de phytoplancton et peu après de zooplancton.

Dans la suite de son développement le gardon est présenté par Pivnicka (1987) comme se nourrissant surtout de zooplancton et plus rarement d'insectes, de végétaux et de particules détritiques. Les individus adultes se nourrissent aussi de mollusques pélagiques et benthiques (Specziar, 1997). Nos résultats semblent montrer que les particules détritiques sont certainement une nourriture abondante pour les individus du lac de Robertville. On peut donc conclure que s'il existe une compétition entre le corégone lavaret et le gardon elle n'est présente qu'au stade jeune. Par la suite le régime alimentaire du gardon se diversifie il devient de plus en plus omnivore et ne devrait pas entraîner de compétition entre ces deux espèces en zone pélagique. On notera tout de même une diminution des populations naturelles de corégone lavaret ainsi que de leur croissance après l'introduction de cyprinidés. Le gardon entrant en compétition alimentaire avec les populations de lavarets (Langeland and Nost, 1995 in Raitaniemi *et al.*, 1999). La population de lavaret de Robertville étant tout à fait artificielle elle est probablement moins affectée par cette compétition.

## 5. Bilan du pacage réalisé au barrage de Robertville

Le pacage réalisé au lac de Robertville nous a donné de bons résultats de croissance avec un SGR moyen de 8,9 %/J et 5,2 %/J respectivement pour les individus d'Emptinne et de Tihange. Ceci nous montre à quel point l'avantage d'un prégrossissement à une température élevée était important pour la suite de l'élevage au sein du lac.

Un bon taux de survie a aussi été observé durant le suivi du pacage, puisque finalement 11.091 alevins de *Coregonus lavaretus* ont été relâchés dans le lac. Parmi ceux-ci 4692 alevins provenaient d'Emptinne et 6399 de Tihange. En ce qui concerne les individus d'Emptinne nous avons observé une survie proche de 100 % à l'intérieur des cages. Pour les alevins provenant de Tihange on estime le taux de survie à plus ou moins 93 %. Cette valeur a été obtenue en considérant que 6900 individus avaient été déversés dans les cages et pas 9900 comme estimé au départ. Champigneulle *et al.* (1986) observent un taux de survie compris entre 11,1 et 36,1 % avec des densités de 4.300 ind/m<sup>3</sup>.

La totalité des alevins a été relâchée entre le 15 mai et le 2 juillet 2003, ce qui a permis d'éviter les hautes températures en surface entre juillet et août. En effet celles-ci risquaient d'entraîner de fortes mortalités puisque la température de 22°C est considérée comme létale

pour le lavaret (CECPI, 1994). Une fois relâchés dans le lac les corégones peuvent rejoindre des zones profondes et plus fraîches.

Le repeuplement de 2002 avait d'ailleurs conseillé cette stratégie de façon à garantir leur optimum de croissance et de taux de survie (Micha *et al.*, 2002).



## V) Conclusions, perspectives

## Conclusions et perspectives

Ce travail réalisé sur le pacage lacustre du *Coregonus lavaretus* au barrage de Robertville visait à en optimiser les repeuplements dans ce lac de barrage, nous allons donc analyser les conclusions dans cette optique d'amélioration.

Aucun problème de qualité d'eau n'a semblé altérer l'élevage de corégones lavarets au lac de Robertville. Il faut toutefois admettre que la tendance à l'eutrophisation ne convient pas tout à fait à cette espèce typique des lacs oligo-mesotrophes.

En ce qui concerne l'élevage en cage nous avons bien mis en évidence que le prégrossissement à une température plus élevée est un atout considérable pour l'élevage ultérieur en cage. En effet les alevins de lavarets provenant de ce type de pré-élevage étant plus grands dès le départ, ceux-ci peuvent se nourrir sans être limités par la taille de leurs proies. Ils vont donc conserver un taux de croissance plus élevé pendant toute la durée de l'élevage en cage. Un atout, plus technique, de la plus grande taille des alevins est de permettre l'utilisation de cages possédant un filet avec une maille plus grande. Ceci réduisant considérablement le problème de biofouling.

Les résultats de l'analyse du régime alimentaire du lavaret nous a permis de tirer des conclusions. D'une part nous observons que les individus provenant d'Emptinne se nourrissent au départ principalement de rotifères. Par la suite ils vont s'alimenter tout comme les individus provenant de Tihange de bosmines et de copépodes cyclopoides.

S'il existe une compétition interspécifique entre les alevins de corégone lavaret et de gardon au point de vue du régime alimentaire. Celle-ci se limiterait aux jeunes gardons puisqu'une fois adultes ils sont omnivores et se nourrissent de détritus, de zooplancton, de mollusques...

Une faible mortalité a été observée dans les cages (proche de 100 % pour Emptinne et de 93 % pour Tihange) ce qui est sans doute dû à une faible mise en charge (237 ind./m<sup>3</sup> pour les larves provenant de Tihange et 521 ind./m<sup>3</sup> pour les larves venant d'Emptinne), mais aussi à un lâcher régulier entre le 15 mai et le 2 juillet 2003.

Au niveau du prégrossissement en bassin la température la plus importante est un avantage pour la suite de l'élevage en cages. Il serait donc intéressant d'utiliser à l'avenir cette méthode de pré-élevage à température plus élevée. Mais il convient toutefois de comparer le coût d'un tel élevage avec celui d'un élevage à de plus basses températures.

Dans les perspectives il serait très intéressant de suivre l'élevage en bassin. La croissance avec plusieurs types de nourritures devrait être testée puisque une phase importante dans la vie de ces larves est le passage d'une nourriture endogène à une nourriture exogène. Il est aussi important que le nombre d'œufs incubés pour ces repeuplements corresponde aux installations et au matériel disponibles, de trop fortes densités créant des mortalités massives. Il faut aussi minimiser les manipulations et les transferts des alevins en bassins vu les mortalités que cela entraîne. L'élevage en bassin doit aussi être revu de manière à optimiser la croissance et la survie des lavarets.

Il serait aussi très intéressant de pouvoir continuer le suivi des corégones une fois dans le lac en vérifiant si l'élevage à une température plus importante est réellement un avantage. Pour ceci il faudrait marquer un pourcentage des individus déversés et ce de manière différente pour les deux groupes d'alevins.

Une autre perspective serait de réaliser le cycle complet de ces déversements de corégone lavaret en Belgique. Ce en réalisant des pêches à la fin du mois de décembre pour capturer des géniteurs afin d'assurer la production d'alevins par reproduction artificielle. Enfin, une autre possibilité intéressante est d'utiliser le système de pacage lacustre sur une autre espèce, plus particulièrement le brochet pour qui les pêcheurs montrent un intérêt particulier. De plus cette espèce peut contribuer à la biomanipulation en réduisant le nombre de zooplanctonophages, ce qui aurait tendance à ralentir le phénomène d'eutrophisation. Il faudrait bien sûr adapter la technique du pacage à l'espèce utilisée.

## VI) Bibliographie

## Références bibliographiques

- Amoros, C. Crustacés cladocères. Introduction à la systématique des organismes des eaux continentales françaises. Extrait Bull. mensuel Soc. Limn. Lyon 53<sup>ème</sup> année, n°3 et 4. Univ. Claude Bernard, Lyon. 63 p. (1984).
- Amundsen, P. Habitat and food segregation of two sympatric population of whitefish (*Coregonus lavaretus* L. s.l.) in Stuorajavri, northern Norway. *Nordic J. Freshw. Res.* **64** : 67-73 (1988).
- Becker, M. & Eckmann, R. Plankton selection by pelagic european whitefish in Lake Constance : dependency on season and time of day. *Pol. Arch. Hydrobiol.* **39(3-4)** : 393-402 (1992).
- Berg, A. & Grimaldi, E. Ecological relationship between planktophagic fish species in the Lago Maggiore. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* **16** : 1065-1073 (1966).
- Berg, S., Jeppesen, E., Sondergaard, M. & Mortensen, E. Environmental effects of introducing whitefish, *Coregonus lavaretus* (L.) in Lake Ring. *Hydrobiologia* **275/276** : 71-79 (1994).
- Billard, R. Les poissons d'eau douce des rivières de France, Delachaux et Niestlé, p.144-145 (1997)
- Bninska, M. Commercial fisheries versus water quality in lakes with special reference to coregonid management. *Fish. Manag. Ecol.* **7** : 105-114 (2000).
- Bouda, S. Contribution à l'étude des populations de *Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758) et de *Coregonus peled* (Gmelin, 1788) des lacs de barrage de Bütgenbach et de Robertville en Haute Belgique. Mémoire présenté pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Complémentaires en Eco-Technologie des Eaux Continentales. FUNDP, Faculté des Sciences. 78 p. (1997).
- Brown, E.A.R. & Scott, D.B.C. Life histories of the powan, *Coregonus lavaretus* (L.) (Salmonidae, Coregoninae) of Loch Lomond and Loch Eck. *Hydrobiologia* **290** : 121-133 (1994).
- CECPI. Directives pour le repeuplement en corégones. Document occasionnel de la CECPI n°31, Rome, FAO. 21 p. (1994).
- Champigneulle, A. Analyse bibliographique des problèmes de repeuplement en omble chevalier (*Salvenilus alpinus*), truite fario (*Salmo trutta*) et corégones (*Coregonus* sp.) dans les grands plans d'eau. *Gestion piscicole des lacs et retenues artificielles*, INRA, Paris, 187-217 (1985).
- Champigneulle, A., Boutry E., Dewaele P. & Maufoy C. Rearing of larvae of Lake Lemman coregonids in France. Preliminary data on the production in small ponds, illuminated cages and tanks. *Arch. Hydrobiol. Beih.* **22** : 241-264 (1986).
- Champigneulle, A. & Rojas Beltran, R First attempt to optimize the mass-rearing of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) larvae from Lemman et Bourget Lakes (France) in tanks and cages. *Aquat. Living. Resour.* **3**: 217-228 (1990).
- Champigneulle, A. & Gerdeaux, D. Survey of experimental stockings (1983-85) of Lake Geneva with spring-prefed *Coregonus lavaretus* fry (3-4,5 cm). *Pol. Arch. Hydrobiol.* **39** : 721-729 (1992).
- Chesson, J. Measuring preference in selective predation. *Ecology* **59** : 211-215 (1978).
- Coche, A.G. Revue des pratiques d'élevage de poissons en cages dans les eaux continentales. *Aquaculture* **13** : 157-189 (1978).
- Cretenoy, L. & Gerdeaux, D. Croissance et alimentation des larves de corégones (*Coregonus lavaretus*) dans le lac d'Annecy de mars à avril 1996. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* **346** : 519-526 (1997).

- Descy, J.-P., Higgins, H.W., Mackey, D.J., Hurley, J.P. & Frost, T.M. Pigment ratios and phytoplankton assessment in northern Wisconsin lakes. *J. Phycol.* **36** : 274-286 (2000).
- Dostani, D., Mamcarz, A., Koslowski, J. & Poczyczynski, P. The influence of thermal conditions during tank rearing on further growth of whitefish larvae (*Coregonus lavaretus* L.) in illuminated cages. *Archives of Polish Fisheries* **7** : 53-63 (1999).
- Dupont, E. Entretenir les cours d'eau et l'habitat des poissons. Publication de la Division de l'eau, Direction des cours d'eau non navigables. Centre de Recherche de la Nature, des Forêts et du bois (DGRNE) ; Région Wallonne (1998).
- Gerdeaux, D., Gerard, P. & Demol, T. Suivi d'opérations de déversement de corégones dans deux lacs de barrage de Haute-Belgique. Rapport (1996).
- Gerdeaux D. Régime alimentaire des corégones et des gardons du Léman, en milieu pélagique. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.*, campagne 1999, 135-140 (2000).
- Giussani, Z.M. & Prejs, A., Food selectivity in *Coregonus* sp. of Lago Maggiore : an energetical approach. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **34** : 121-130 (1977).
- Hammer C. Feeding behavior of roach (*Rutilus rutilus*) larvae and the fry of perch (*Perca fluviatilis*) in Lake Lankau. *Arch. Hydrobiol.* **103** : 61-74 (1985).
- Hanazato, T., Iwakuma, T. & Hayashi, H. Impact of whitefish in an enclosure ecosystem in a shallow eutrophic lake : selective feeding of fish and predation effects on the zooplankton communities. *Hydrobiologia* **200/201** : 129-140 (1990).
- Harding, J.P. & Smith, W.A. Cyclopids and calanoid copepods, a key to the British Freshwater. *Freshwater Biological Association. Scientific* **18** (2<sup>nd</sup> ed.). 54 p. (1974).
- Hartmann, J. Interspecific predictors of selected prey of young fishes. *Arch. Hydrobiol. Beih.* **22** : 373-386 (1986).
- Heikinheimo, O., Miinalainen, M. & Peltonen, H. Diet, growth and competitive abilities of sympatric whitefish forms in a dense introduced population : results of a stocking experiment. *J. Fish Biol.* **57** : 808-827 (2000).
- Hyslop, E.J. Stomach content analysis - a review of methods and their application. *J. Fish Biol.* **17** : 411-429 (1980).
- Karjalainen, J. & Viljanen, M. Size of vendace (*Coregonus albula* L.) and whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) larvae sampled with different types of gear. *Pol. Arch. Hydrobiol.* **39** : 371-380 (1992).
- Karjalainen, J. & Viljanen, M. Size-dependent differences in the early life histories of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) and vendace (*Coregonus albula* (L.)) in the Saimaa lake system (Finland). *Arch. Hydrobiol.* **130** : 229-239 (1994).
- Keith, P. & Allardi, J. Atlas des poissons d'eau douce de France, Museum national d'histoire naturelle, p. 263-265 (2001).
- Koskela, J., Influence of dietary protein levels on growth and body composition of whitefish (*Coregonus lavaretus*). *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* **46** : 331-338 (1995).
- Koskela, J., Jobling, M. & Savolainen, R. Influence of dietary fat level on feed intake, growth and fat deposition in the whitefish *Coregonus lavaretus*. *Aquaculture International* **6** : 95-102 (1998).
- Lindström, T. Life history of whitefish young (*Coregonus*) in two lake reservoirs. *Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm* **44** : 113-144 (1962).
- Luczynski, M. Review on the biology, exploitation, rearing and management of coregonid fishes in Poland. *Arch. Hydrobiol. Beih.* **22** : 115-140 (1986).
- Luczinsky, M., Falkowski, S. & Kopecki, T. Larval development in four coregonids species (*Coregonus albula*, *C. lavaretus*, *C. muskun* and *C. peled*). *Finnish Fisheries Research* **9** : 61-69. (1988).

- Mack, A. & Billard, R. Données bibliographiques sur l'élevage des jeunes stades et la biologie des corégones. *Bull. Fr. Piscic.* **292** : 18-45 (1984).
- Mackey, M.D., Mackey, D.J., Higgins, H.W. & Wright, S.W. Chemtax – a program for estimating class abundances from chemical markers : application to HPLC measurements of phytoplankton. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* **144** : 265-283 (1996).
- Malbrouck, C. Etude de différentes espèces de corégones et de leur régime alimentaire en vue de leur valorisation halieutique dans les lacs de barrage de Bütgenbach et de Robertville. Rapport d'étude au ministère de la Région Wallonne (*Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGRNE)*) FNDP – Namur 2000.
- Malbrouck, C., Mergen P. & Micha J-C. Growth and diet of introduced coregonid fish *Coregonus peled* (Gmelin) and *Coregonus lavaretus* (L.) in two Belgian reservoirs. (non publié).
- Mamcarz A. Conversion formulae and monograms for various measurement of length in the peled (*Coregonus peled* Gmel.). *Acta Hydrobiol.*, **28 (3/4)** : 475-481. (1986)
- Mamcarz, A. & Murawska, E. Studies on the larvae and fry feeding of the two *Coregonidae* species during its first year of growth in illuminated cages. *Acta Ichthyol. Piscat.* **18(2)** : 51-71 (1988).
- Mamcarz, A. Studies on cage rearing of the coregonid fishes (coregonidae) in different water bodies. *Acta Acad. Agricult.Tech.Olst.* **18** : 65-76 (1990).
- Mamcarz, A. & Lossow, K. The effect of coregonid fish (coregonidae) rearing in illuminated cages on the chemistry of surrounding water. *Pol. Arch. Hydrobiol.* **42** : 277-288 (1995).
- Mamcarz, A. Rearing of coregonid (*Coregonus* sp.) larvae in illuminated cages : a review. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* **46** : 287-292 (1995).
- Marciak, Z. Food preference of juveniles of three coregonid species reared in cages. *European Mariculture Society Spec. Publ.* **4** : 127-137 (1979).
- Mergen, P., Kestemont, P. & Micha, J.C. Convention relative à l'étude des populations piscicoles dans les lacs de barrage. Rapport annuel n°3, Ministère de la Région Wallonne. 56 p. (1996).
- Mergen, P. Distribution spatio-temporelle des communautés ichtyologiques dans les lacs de barrages de Nisramont (Belgique) et d'Esch-sur-sûre (Grand-Duché du Luxembourg). Thèse doctorale, FUNDP, Faculté des Sciences, 2002.
- Micha, J.-C., Malbrouck, C. & Fossion, P. Suivi de l'élevage en pacage lacustre des corégones lavarets au lac de Robertville. Etude financée par le Ministère de la Région Wallonne et réalisée par Unité de Recherche en Biologie des Organismes (FUNDP), Namur. Rapport d'études, Ministère de la Région Wallonne, 31 p. (2002).
- Ministère de la Région Wallonne, Qualité biologique des eaux de surface 1986-1992. Ministère de la Région Wallonne (MRW)- Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGRNE), Namur 1994.
- Næsje, T.F., Sandlund, O.T. & Jonsson, B. Habitat use and growth of age-0 whitefish, *Coregonus lavaretus*, and cisco, *Coregonus albula*. *Environ. Biol. Fish.* **15(4)** : 309-314 (1986).
- OCDE. Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control, (1982).
- Pivnicka, K., Cerny, K. & Hisek, K. Poissons. Gründ, Paris. 304 pp. (1987).
- Pomeroy, P.P. A comparative assessment of temporal variation in diet of powan, *Coregonus lavaretus* (L.), from Loch Lomond and Loch Eck, Scotland, U.K. *J. Fish Biol.* **38** : 457-478 (1991).
- Pontin, R. A key to British Freshwater Planktonic Rotifera. Freshwater Biological Association n°38. 179 p. (1978).

- Ponton, D. & Müller, R. Alimentation et facteurs de mortalité des larves de corégones (*Coregonus* sp.). Exemple de deux lacs de niveaux trophiques différents : les lacs de Sarnen et de Hallwil (Suisse centrale). *Aquat. Sci.* **51**(1) : 67-83 (1989).
- Raitaniemi, J., Malinen, T., Nyberg, K. & Rask, M. The growth of whitefish in relation to water quality and fish species composition. *J. Fish Biol.* **54** : 741-756 (1999).
- Rasmussen, K., Results of rearing and realising whitefish in the hypertrophic Hjarbaek Fjord, Denmark. *Finn. Fish. Res.* **9** : 417-424 (1988).
- Rasmussen, K. Some positive and negative effects of stocking whitefish on the ecosystem redevelopment of Hjarbaek Fjord, Denmark. *Hydrobiologia* **200/201** : 593-602 (1990).
- Reshetnikov, Yu. S. Coregonid fishes in recent conditions. *Finn. Fish. Res.* **9** : 11-16 (1988).
- Reshetnikov, Yu. S. An overview of research on coregonids in the URSS. *Pol. Arch. Hydrobiol.* **39** : 587-598 (1992).
- Rey, P. & Eckmann, R., Konstanz. The influence of lake temperature on growth of *Coregonus lavaretus* L. larvae. *Arch. Hydrobiol.* **116** : 181-190 (1989).
- Rösch, R. Rearing of coregonids (*Coregonus* sp.) larvae in tanks : a review. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* **46** : 293-300 (1995).
- Rojas Beltran, R., Champigneulle, A., Gillet, C. & Le Rouilly, N. Influence of egg source, initial characteristics, and rearing conditions on the growth, survival, and development of *Coregonus lavaretus* L. larvae initially fed on a dry diet. *Pol. Arch. Hydrobiol.* **39** : 683-691 (1992).
- Ruhlé, C. Preliminary results of investigations on the biology of slow-growing whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) in Lake Walenstadt, Switzerland. *Finn. Fish. Res.* **9** : 175-182 (1988).
- Salojärvi, K. Spawning ecology, larval food supplies and causes of larval mortality in the whitefish (*Coregonus lavaretus* L.). *Pol. Arch. Hydrobiol.* **29**(1) : 159-178 (1982).
- Sandlund, O.T., Næsje, T.F. & Kjellberg, G. The size selection of *Bosmina longispina* and *Daphnia galeata* by co-occurring cisco (*Coregonus albula*), whitefish (*Coregonus lavaretus*) and smelt (*Osmerus eperlanus*). *Arch. Hydrobiol.* **110**(3) : 357-363 (1987).
- Sandlund, O.T., Næsje, T.F. & Saksgard, R. Ecological diversity in whitefish *Coregonus lavaretus* : ontogenetic niche shifts and polymorphism. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* **46** : 49-59 (1995).
- Sarvala, J., Rajasilta, M., Hangelin, C., Hirvonen, A., Kiiskilä, M. & Saarikari, V. Spring abundance, growth and food of 0+ vendace (*Coregonus albula* L.) and whitefish (*Coregonus lavaretus* L. s.l.) in Lake Pyhäjärvi, SW Finland. *Finn. Fish. Res.* **9** : 221-233 (1988).
- Skurdal, J., Bleken, E. & Stenseth, N.C. Cannibalism in whitefish (*Coregonus lavaretus*). *Oecologia* **67** : 566-571 (1985).
- Specziar, A., Tölg, L. & Biro, P. Feeding strategy and growth of cyprinids in the littoral zone of Lake Balaton. *J. Fish Biol.* **51** : 1109-1124 (1997).
- Spillmann, C.J. Faune de France : 65 poissons d'eau douce. Edition Paul Lechevalier. Paris, 303 p. (1961).
- Spineux, Y. & Kestemont, P. Etude des potentialités d'élevage de poissons en cages en Région Wallonne. Etude financée par le Ministère de la Région Wallonne et réalisée par Unité de Recherche en Biologie des Organismes (FUNDP), Namur. Rapport d'études, Ministère de la Région Wallonne, 72 p. (2000).
- Sutela, T. & Huusko, A. Food consumption of vendace *Coregonus albula* larvae in lake Lentua, Finland. *J. Fish Biol.* **51** : 939-951 (1997).
- Tigny, V. Contribution à l'étude du régime alimentaire des *Coregonus peled* des lacs de barrage de Robertville et Bütgenbach en vue de préciser leur position au sein du réseau trophique. Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade d'ingénieur agronome. UCL, Faculté des sciences agronomiques (2000).



- Vincent G. Pacage lacustre de corégones. Analyse des techniques d'élevage de juvéniles pratiquées en région Rhone-Alpes : production, qualité, marquage. Mémoire de stage INRA, Thonon les bains. 61 p. (1992).
- Vostradovsky, J. The future of coregonids in man-made lakes in Czechoslovakia. *Arch. Hydrobiol. Beih.* **22** :141-149 (1986).
- Vostradovsky, J., Krizek, J., Ruzicka, L. & Vostradovska, M. The biology of the whitefish hybrid between *Coregonus lavaretus maraena* Bloch and *Coregonus peled* Gmelin in man-made lakes in Czechoslovakia. *Finn. Fish. Res.* **9** : 183-189 (1988).
- Webster, C.D., Tidwell J.H., Tiu L.G. & Yancey D.H. Culture, nutrition and feeding of fish in cages. *Aquaculture magazine* **sept-oct** (1996).
- Zaugg, B. & Pedroli, J-C. The rearing of young fish in illuminated net cages in Lake Neuchâtel, Switzerland. *Arch. Hydrobiol. Beih.* **22** : 215-230 (1986).
- Zuromska, H. Conditions of natural reproduction of *Coregonus albula* (L.) and *Coregonus lavaretus* (L.). *Pol. Arch. Hydrobiol.* **29** : 1-28 (1982).

# Liste des figures et tableaux :

<u>Figures</u>	Pages :
Figure 1 : Représentation cartographique du milieu d'étude	2
Figure 2 : Phylogénie hypothétique des Coregonidae	4
Figure 3 : Illustration du <i>Coregonus lavaretus</i> (Linnaeus, 1758)	4
Figure 4 : Développement des larves de <i>Coregonus lavaretus</i> et de leur système digestif à leurs différents stades	6
Figure 5 : Croissance totale en longueur et poids frais chez trois espèces de Coregoninae	6
Figure 6 : Régime alimentaire de larves de <i>Coregonus lavaretus</i> dans le lac d'Annecy	7
Figure 7 : Changement saisonnier de la composition du régime alimentaire du <i>Coregonus lavaretus</i> en cages flottantes	7
Figure 8 : Variation saisonnière du nombre de proies spécifiques contenues dans les estomacs de <i>Coregonus</i> sp.	7
Figure 9 : Evolution mensuelle des pourcentages volumétriques des proies dans les estomacs de corégones et de gardons en 1999 dans le lac Léman.	8
Figure 10 : Techniques de repeuplement et de gestion de la production de corégones	8
Figure 11 : Schématisation d'un système de cages immergées	9
Figure 12 : Poids moyen de larves de <i>Coregonus lavaretus</i> pendant leur élevage en bassin	13
Figure 13 : Poids moyen de larves de <i>Coregonus lavaretus</i> pendant leur élevage en cage	13
Figure 14 : Mortalité cumulée de <i>Coregonus lavaretus</i> élevés en bassin	13
Figure 15 : Mortalité cumulée de <i>Coregonus lavaretus</i> élevés en cages	13
Figure 16 : Schéma d'une bouteille de Zug	17
Figure 17 : Photo du pacage lacustre placé à Robertville	18
Figure 18 : Evolution de la température et du pH de l'eau entre le 18 avril et le 25 juin 2003 au niveau des cages dans le lac de Robertville	25
Figure 19 : Evolution de la concentration en oxygène dissous en surface de l'eau au niveau des cages entre le 23 avril et le 25 juin 2003 dans le lac de Robertville	25
Figure 20 : Evolution de la concentration en nitrites N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ainsi qu'en nitrates N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> à la surface de l'eau au niveau des cages entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 dans le lac de Robertville	27
Figure 21 : Evolution de la concentration en ammonium N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> à la surface de l'eau au niveau des cages entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 dans le lac de Robertville	27
Figure 22 : Evolution de la concentration en phosphore total à la surface de l'eau au niveau des cages entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 dans le lac de Robertville	28
Figure 23 : Evolution de la concentration en chlorophylle a en surface de l'eau au niveau des cages entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 dans le lac de Robertville	29
Figure 24 : Evolution de la composition et de la biomasse du phytoplancton en surface de l'eau au niveau des cages entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 au lac de Robertville	29
Figure 25 : Evolution de la longueur totale pour les alevins de corégones provenant d'Emptinne et de Tihange entre le 18 avril et le 25 juin 2003 au lac de Robertville	30
Figure 26 : Evolution du poids pour les alevins de corégones provenant d'Emptinne et de Tihange entre le 18 avril et le 25 juin 2003 au lac de Robertville	31
Figure 27 : Evolution du taux spécifique de croissance (Specific Growth Rate) pour les individus provenant d'Emptinne et de Tihange entre le 23 avril et le 25 juin 2003 au barrage de Robertville	31
Figure 28 : Evolution du zooplancton total dans le lac de Robertville entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 sur trois sites de prélèvements (IN, NEXT, OUT)	33

Figure 29 :	Evolution des principaux taxa de rotifères dans le lac de Robertville entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 sur trois sites de prélèvements (IN, NEXT, OUT)	35
Figure 30 :	Evolution des principaux taxa de cladocères dans le lac de Robertville entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 sur trois sites de prélèvements (IN, NEXT, OUT)	36
Figure 31 :	Evolution des principaux taxa de copépodes dans le lac de Robertville entre le 18 avril et le 2 juillet 2003 sur trois sites de prélèvements (IN, NEXT, OUT)	37
Figure 32 :	Evolution de l'indice d'occurrence dans les estomacs de corégones en provenance de Tihange entre le 23 avril et le 18 juin 2003	38
Figure 33 :	Evolution de l'indice d'occurrence dans l'estomac des corégones en provenance d'Emptinne entre le 23 avril et le 18 juin 2003	38
Figure 34 :	Evolution de l'indice d'abondance dans les estomacs des corégones en provenance de Tihange entre le 23 avril et le 18 juin 2003	39
Figure 35 :	Evolution de l'indice d'abondance dans les estomacs des corégones en provenance d'Emptinne entre le 23 avril et le 2 juillet 2003	39
Figure 36 :	Indice d'occurrence de 38 gardons prélevés le 25 juin à l'aide de filets de mailles de 10 et de 20 mm qui pesaient et mesuraient respectivement en moyenne 7.2 g pour 91 mm et 40 g pour 116 mm	40
Figure 37 :	Indice d'abondance de 38 gardons prélevés le 25 juin à l'aide de filets de mailles de 10 et de 20 mm qui pesaient et mesuraient respectivement en moyenne 7.2 g pour 91 mm et 40 g pour 116 mm	40
Figure 38 :	Evolution de la sélectivité des deux groupes de corégones étudiés entre le 23 avril et le 2 juillet 2003	43
Figure 39 :	Sélectivité des gardons pêchés le 25 juin 2003 à l'aide de filets de mailles de 10 et de 20 mm qui pesaient et mesuraient respectivement 7.2 g pour 91 mm et 40 g pour 116 mm.	44

## Tableaux

Pages :

Tableau 1 :	Caractéristiques morphométriques et hydrologiques de la retenue de Robertville	2
Tableau 2 :	Abondance en nombre d'individus par campagne de pêche au lac de Robertville de 1994 à 1999 et pour l'année 2002	3
Tableau 3 :	Biomasse en kg par campagne de pêche au lac de Robertville de 1994 à 1999 et pour l'année 2002	3
Tableau 4 :	Techniques de prégrossissement des corégones de repeuplement	11
Tableau 5 :	Expérience de repeuplement en juvéniles de corégones	13
Tableau 6 :	Déversements en corégones dans le lac de Robertville entre 1978 et 1999	15
Tableau 7 :	Nombre d'alevins de corégones déversés entre le 15 mai et le 2 juillet 2003 dans le lac de Robertville	32
Tableau 8 :	Evolution du zooplancton total en nombre d'individus par litre dans les cages contenant les alevins de corégones provenant d'Emptinne (IN E) et de Tihange (IN T) au lac de Robertville entre le 23 avril et le 2 juillet 2003	34
Tableau 9 :	Comparaison du nombre d'individus zooplanctoniques présent dans l'estomac de corégones et de gardons prélevés le 25 juin sur le lac de Robertville. Cette moyenne a été réalisée sur les gardons capturés à l'aide de filets de mailles de 10 et de 20 mm	41

## Liste des annexes :

### Fichiers Excel :

Annexe 1 : Physico-chimie du lac de Robertville pendant toute la durée du pacage.

Annexe 2 : Dosage des nutriments du lac de Robertville pendant toute la durée du pacage.

Annexe 3 : Résultats de croissance des alevins de corégones lavarets durant le pacage ainsi que les résultats de leurs contenus stomacaux.

Annexe 4 : Zooplancton prélevé en trois sites du lac de Robertville pendant toute la durée du pacage.

Annexe 5 : Résultats des indices d'occurrences et d'abondances des corégones durant l'élevage en cage.

Annexe 6 : Résultats du calcul des indices de sélectivité pour le corégone et le gardon.